Міністерство освіти і науки України

Запорізький національний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні
(назва факультету)

кафедра металургійного обладнання
(повна назва кафедри)

ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

На тему Аналіз роботи 4-х валкової дробарки в умовах відділення подрібнення коксу агломераційного цеху

Виконав: студент групи 6.1332

Александрович А. Р.
(ПІБ) (підпис)

спеціальності

133 Галузеве машинобудування
(шифр і назва)

спеціалізація

(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма
Галузеве машинобудування
(шифр і назва)

Керівник Шейко С.П.
(прізвище та ініціали) (підпис)

Н.контроль Гречаний О.М.
(прізвище та ініціали) (підпис)

Запоріжжя – 2026 року

Запорізький національний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні

Кафедра металургійного обладнання

Рівень вищої освіти бакалавр
(перший (бакалаврський) рівень)

Спеціальність 133 Галузеве машинобудування
(шифр і назва)

Спеціалізація
(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма Галузеве машинобудування
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедрою А.О. Власов

_____

“____”_____20___ року

Завдання
до випускної кваліфікаційної роботи бакалавра

Александровича Артура Романовича
(прізвище, ім’я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи: Аналіз роботи 4-х валкової дробарки в умовах відділення подрібнення коксу агломераційного цеху
керівник кваліфікаційної роботи проф. кафедри, канд. техн. наук. Шейко С.П. затверджені наказом вищого навчального закладу від “23“ грудня 2025 року № 1831-с
2. Строк подання студентом кваліфікаційної роботи 13 червня 2026 року.
3. Вихідні дані кваліфікаційної роботи техніко-економічні показники роботи відділення подрібнення коксу агломераційного цеху
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): 1. Загальна частина; 2. Спеціальна частина; 3. Експлуатаційна частина; 4. Охорона праці та техногенна безпека. Загальні висновки та рекомендації
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов’язкових креслень): 1. Дробарка 4-х валкова для коксу – 3А1; 2. Привод дробарки 4-х валкової для коксу – 1А1; 3. Валок приводний передній нижній – 1А1; 4. Станина – 1А1; 5. Схема шкідливих зон процесу агломерації – 1А1.

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1	Шейко С.П., канд.техн.наук, проф.кафедри		
2	Шейко С.П., канд.техн.наук, проф.кафедри		
3	Шейко С.П., канд.техн.наук, проф.кафедри		
4	Шейко С.П., канд.техн.наук, проф.кафедри		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційої роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи	Примітки
1	Збір матеріалу на проєктування	09.02.2026 – 15.02.2026	
2	Групування та аналіз зібраного матеріалу. Уточнення завдань проєктування	16.02.2026 – 22.02.2026	
3	Виконання теоретичної частини проєкту	13.04.2026 – 19.04.2026	
4	Виконання графічної частини проєкту	20.04.2026 – 26.04.2026	
5	Написання та оформлення пояснювальної записки	27.04.2026 – 03.05.2026	
6	Перевірка проєкту консультантами	11.05.2026 – 17.05.2026	
7	Попередній захист проєкту	19.05.2026	
8	Переплітання пояснювальної записки	Згідно з графіком	
9	Захист проєкту	Згідно з графіком	

Здобувач _____ Александрович А. Р.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи _____ Шейко С.П.
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Александрович А. Р. Аналіз роботи 4-х валкової дробарки в умовах відділення подрібнення коксу агломераційного цеху

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти бакалавр за спеціальність 133 – Галузеве машинобудування, керівник С.П. Шейко. Запорізький національний університет, Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні, кафедра металургійного обладнання, 2026.

Проаналізовані переваги та недоліки технолгічного процесу підготовки шихти перед агломерацією. Виконано аналіз конструктивних недоліків чотирьохвалкової дробарки для подрібнення коксу. Запропоновано проєкт удосконалення завантажувального вузла валкої дробарки. Виконані необхідні конструктивні та технологічні розрахунки розрахунки. Приділено увагу питанням техногенної безпеки та екології при виробництві агломерату.

Ключові слова: агломерат, чотирьохвалкова дробарка, валок, кокс, карта змащування, організація ремонтних робіт, техніка безпеки

ABSTRACT

Aleksandrovych A. R. Analysis of the Operation of the 4-Roll Crusher in the Coke Grinding Section of a Sintering Plant

Qualifying thesis for obtaining a bachelor's degree in higher education, specialty 133 – Industrial engineering, adviser S. P. Sheyko. Zaporizhzhia National University, Engineering Educational and Scientific Institute them. Yu.M. Potebni, Department of Metallurgical Equipment, 2026.

The advantages and disadvantages of the technological process of preparing the charge before sintering are analyzed. The analysis of the design shortcomings of the four-roll crusher for grinding coke is performed. A project for improving the loading unit of the roll crusher is proposed. The necessary design and technological calculations are performed. Attention is paid to the issues of technogenic safety and ecology in the production of sinter.

Keywords: sinter, four-roll crusher, roll, coke, lubrication chart, organization of repair work, safety precautions

ЗМІСТ

ВСТУП 7
1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА 8
1.1 Структура агломераційного цеху, склад устаткування з короткою характеристикою вантажопотоків 8
1.2 Коротка технічна характеристика та призначення чотирьохвалкової дробарки 19
1.3 Аналіз недоліків чотирьохвалкової дробарки та заходи щодо їхнього усунення 24
2 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА 27
2.1 Розрахунок потужності та вибір електродвигуна чотирьохвалкової дробарки 27
3.2 Розрахунок робочого валка чотирьохвалкової дробарки на міцність та деформацію 35
3.3. Вибір кріпильних та опорних вузлів робочих валків чотирьохвалкової дробарки 40
3 ЕКСПЛУАТАЦІЙНА ЧАСТИНА 44
3.1 Розробка карти змащування. Вибір мастильних матеріалів та системи змащування і для тертьових деталей дробарки 44
3.2 Розрахунки технлогічного спрямування 49
3.2.1 Розрахунок зусилля напресування втулки зубчатої муфти на вал 49
3.2.3 Розрахунок зусилля напресування вальниць на вал 52
3.2.4. Розрахунок температури нагріву вальниці 54
3.2.5. Розрахунок і вибір канату для виготовлення стропа 55
3.3 Підготовка до капітального ремонту чотирьохвалкової дробарки 57
3.4 Організація роботи механослужби цеху та планування ремонтів чотирьохвалкової дробарки 63
3.5 Розрахунок чисельності робітників на капітальний ремонт механообладнання чотирьохвалкової дробарки 73

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА 76
4.1 Заходи по охороні праці при капітальному ремонті валкової дробарки 76
4.2 Заходи по протипожежній техніці безпеки при капітальному ремонті валкової дробарки 77
4.3. Заходи по промислової санітарії при капітальному ремонті валкової дробарки 80
4.4. Заходи по охорони навколишнього середовища 82
Висновки 84
Список використаної літератури 85
ДОДАТКИ 89

ВСТУП

Сучасний розвиток чорної металургії вимагає безперервного підвищення ефективності доменного виробництва, що безпосередньо пов’язано з якістю залізорудної сировини. Одним з основних компонентів шихти при виплавці чавуну залишається агломерат. Процес його спікання значною мірою залежить від якості палива – коксового дріб’язку, який використовується як інтенсифікатор горіння.

Для забезпечення оптимальної газопроникності агломераційної шихти та досягнення високих техніко-економічних показників, коксовий дріб’язок повинен мати чітко визначений гранулометричний склад. Наявність як занадто великих часток, так і великої кількості пиловидної фракції погіршує процес спікання, збільшує витрату палива та знижує міцність готового агломерату.

Основним технологічним агрегатом у відділенні подрібнення коксу, який забезпечує отримання заданого класу крупності, є чотиривалкова дробарка. Вона поєднує в собі процеси руйнування матеріалу стисненням та стиранням, що дозволяє досягти високого ступеня подрібнення за один прохід. Проте кокс є надзвичайно абразивним матеріалом, що призводить до інтенсивного зносу робочих поверхонь валків, порушення технологічних зазорів, зниження продуктивності дробарки та підвищення питомих витрат електроенергії.

У зв’язку з цим, аналіз роботи чотиривалкових дробарок та пошук шляхів оптимізації режимів експлуатації в умовах реального виробництва є актуальним практичним завданням.

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи містить 96 сторінок, на яких 10 рисунків, 6 таблиць, 7 додатків. Бібліографічний список має 41 найменування літературних джерел.

Об'єкт проєктування – вузли 4-х валкової дробарки.

Мета роботи – підвищення ефективності та надійності процесу подрібнення коксового дріб’язку в агломераційному цеху шляхом комплексного аналізу роботи чотиривалкової дробарки та розробки рекомендацій щодо оптимізації її конструктивних і технологічних параметрів.

1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1 Структура агломераційного цеху, склад устаткування з короткою характеристикою вантажопотоків

Оґрудкування пилуватих руд і тонких концентратів перед доменною плавкою дозволяє суттєво покращити техніко-економічні показники роботи доменних печей, збільшити їхню продуктивність [1]. Процес агломерації можна умовно розбити на такі періоди [2]:

– підготовка шихти;
– дроблення та дозування складових матеріалів;
– змішування та оґрудкування;
– спікання;
– дроблення агломерату.

Сировину, що надходить на рудне подвір'я для усереднення, розвантажують рівномірно по фронту розвантаження штабеля, що формується. Штабель формують шляхом пошарового складування сировини. Як сировину використовуються: аглоруди, концентрати, шлами, колошниковий пил, металева циндра, марганцева руда, відходи графітового виробництва, вапно, вапняк та паливо для агломерації. Сировину розсипають грейферним краном по ширині рудного двору рівномірним шаром, доки не утвориться гребінь висотою до 1 метра. Гребені наступних шарів укладають між гребенями нижніх шарів до закінчення формування штабеля, висота якого 15 метрів [3].

Рудна суміш, вапняк, а також паливна суміш з випаленим вапном подаються до приймальних бункерів. Основне призначення дозування та дроблення – забезпечити отримання агломерату заданої якості з фіксованим хімічним складом. Шихта складається з наступних компонентів [4]:

– рудна суміш та вапно;
– марганцева руда;
– вапняк;

– паливо;

– гаряче повернення.

Величина палива не повинна перевищувати 25 мм. Максимальне відхилення матеріалів, що видаються, по масі від заданої за технологічною картою не повинні перевищувати: для суміші рудни – 3%, для вапна – 2%. Коксовий дріб'язок та паливо дроблять до фракції 0-3 мм не менше 95%; вапняк – 0-3 мм не менше 97% [5].

У схему дроблення палива включено живильник-класифікатор, так як попередній розподіл палива по крупності перед його дробленням реалізує можливість управління його гранулометричним складом і скорочує вміст частинок 0,5 мм на 8-10%.

Завчасно задане вагове співвідношення руда-вапно дозволяє автоматизувати рпроцес дозування випаленого вапна. Вагова кількість вапняку визначають за заданою основністю агломерату, ваговими якостями та складом рудної суміші. Витрата палива встановлюють виходячи з умови отримання міцного агломерату за високої продуктивності агломашини. Видача матеріалів з бункерів дозувального відділення провадиться після отримання даних про хімсклад. Дозування проводиться автоматично та безперервно. Дозування рудної суміші здійснюється з двох бункерів. Точність дозування контролюють не менше трьох разів на зміну.

Основним призначенням процесів змішування, зволоження та оґрудкування шихти є формування однорідної за складом і властивостями маси шихтових компонентів, яка забезпечує високу газопроникність шару під час агломераційного спікання. Якісна підготовка шихти створює сприятливі умови для рівномірного проходження повітря через матеріал, стабільного горіння палива та отримання міцного агломерату з необхідними технологічними характеристиками. Підготовка шихти здійснюється у дві послідовні стадії – у первинному та вторинному змішувачах. На першій стадії відбувається попереднє перемішування всіх компонентів шихти, що дозволяє рівномірно розподілити рудні матеріали, паливо, флюси та зворотний продукт по всьому об'єму суміші.

Друга стадія передбачає остаточне змішування, зволоження та оґрудкування шихти з утворенням ґрудочок оптимального розміру.

Важливим фактором ефективного оґрудкування є вологість шихти. Оптимальний її вміст зазвичай знаходиться в межах 8–9 %. За таких умов забезпечується достатня пластичність матеріалу та формування стійких гранул, які не руйнуються під час транспортування і завантаження на агломераційну машину. Якщо шихта має дрібнішу структуру, кількість вологи необхідно збільшувати, оскільки зростає сумарна поверхня частинок і, відповідно, потреба у воді для їх зв'язування. При збільшенні крупності матеріалу вологість, навпаки, зменшують. Процес зволоження шихти зазвичай здійснюється у другому змішувальному барабані, де вода рівномірно розподіляється по всьому об'єму матеріалу. У разі підвищення продуктивності агломераційної машини та збільшення масової витрати шихти відповідно збільшується і витрата води, необхідної для підтримання оптимальної вологості суміші. Контроль вологості шихти на практиці часто проводять за її зовнішніми ознаками. Добре підготовлена шихта при стисканні в руці повинна зберігати надану їй форму, не розсипатися та не виділяти надлишкової вологи. Це свідчить про правильне співвідношення твердої та рідкої фаз і належну готовність шихти до агломераційного процесу.

Висота шару шихти на агломашині встановлюється залежно від газопроникності в межах 300-350 мм. Агломашини обладнані комбінованими двосекційними газовими пальниками з горизонтально розташованими пальниками. Запалювання шихти здійснюється природним газом; режим запалення шихти регулюють шляхом підтримки на заданому рівні температури горна та співвідношення газ-повітря. Температура горна підтримується не більше: перша секція – зона запалення 1200-1350 °С, друга секція – зона теплової обробки 1350-400 °С (початок та кінець секції відповідно). Об'ємні витрати газу та повітря підтримують у межах 700-800 м^3/год та 4200-4800 м^3/год відповідно. При цьому тиск природного газу також регулюється та має підтримуватися нна рівні не нижче 4905 Па. Швидкість руху стрічки регулюється залежно від

вертикальної швидкості спікання. Температура газів, що відходять, в 12 і 13 вакуум камерах повинна бути 200-250 °С. Нормальне розрідження у вакуум камерах становить 9800-11700 Па. При нормальному ході процесу спікання агломерат рівномірно спечений і при видачі зі стрічки розжарений не більше ніж на 1/3 висоти знизу.

Дроблення та відсів дрібниці від агломерату здійснюється за допомогою валкових дробарок та двоярусного стаціонарного ґуркоту. Відстань між зірочками дробарки становить 300 мм. Ширина щілин верхнього гуркоту 50 мм, нижнього – 12 мм [6, 7].

Під процесом спікання розуміють сукупність перетворень при яких тверде паливо, що спалюється та просмоктується повітрям, в шарі шихти забезпечує розвиток високих температур в зоні горіння і оплавлення матеріалів. В результаті виходить спек, що володіє необхідними фізико-хімічними властивостями. Процес спікання характеризується:

– температурою поверхні запаленої шихти;
– висото шару пирога агломерату;
– швидкістю спікання, температурою в зоні горіння та часом перебування шихти на стрічці (швидкість стрічки);
– ступінем закінченості спікання.

Початковим етапом агломераційного процесу є запалювання шихти, під час якого необхідно забезпечити займання паливних частинок, що входять до складу суміші, а також передати у верхній шар шихти достатню кількість теплової енергії для стійкого розвитку подальшого процесу горіння. Саме на цій стадії формуються умови для нормального перебігу спікання та утворення якісного агломерату.

Для ефективного запалювання важливе значення має не лише висока температура в запальному горні, а й склад продуктів згоряння. Газове середовище повинно містити достатню кількість кисню, необхідного для інтенсивного спалювання коксику в шарі шихти. Недостатній вміст кисню погіршує умови горіння та може призвести до нестійкого перебігу

агломераційного процесу [4, 7].

Стабільна робота запального горна також потребує підтримання певного тиску. Це необхідно для запобігання підсмоктуванню холодного атмосферного повітря або вибиванню полум'я назовні, особливо в зонах бортів агломераційних візків. Одночасно у вакуум-камерах, розташованих під горном, створюється необхідне розрідження, яке забезпечує просмоктування газів через шар шихти та поступове переміщення зони горіння вглиб матеріалу.

Під час запалювання основними технологічними параметрами є температура поверхневого шару шихти та кількість тепла, що накопичується у верхніх горизонтах матеріалу. Від цих показників залежить швидкість займання палива, інтенсивність поширення фронту горіння та подальша якість спікання [4].

Суттєвий вплив на процес має також величина розрідження під шаром шихти. Якщо розрідження є недостатнім, продукти горіння проходять через шар повільно, унаслідок чого сповільнюється теплопередача до нижніх шарів матеріалу. Це призводить до зменшення швидкості переміщення фронту горіння та загального уповільнення процесу агломерації [8].

Надмірне розрідження також негативно впливає на перебіг процесу. У такому випадку тепло відводиться через шар занадто інтенсивно, а фронт горіння не встигає за швидкістю руху газів. Через це знижується концентрація теплової енергії у зоні спікання, що погіршує умови формування агломераційного пирога. У результаті готовий агломерат набуває недостатньої міцності та може руйнуватися під час подальшого транспортування й використання.Спікання шихти ведеться на колосникових гратах палет агломераційної машини методом просмоктування повітря. Повітря, що просмоктується через шар шихти, утворює зону горіння висотою 15-35 мм з температурою 1400-1600 °С [9]. Ця зона переміщується згори до низу з технологічною швидкістю спікання ϖ_c=0,15÷0,7 мм/с. При цьому шихта переміщується від головної до хвостової частини машини зі швидкістю руху аглострічки зі швидкістю ϖ_{ac}=60÷120 мм/с. У таких умовах зона горіння набуває форми похилого плоского шару (рис.1.1). У зоні

завдовжки $l_з$ відбувається запалення сирої шихти 1. У 2 зоні відбувається інтенсифікація процесів горіння та здійснюється спікання шихти на ділянці завдовжки l_c. Готовий агломерат 4 утворюється поза зоною спікання. На ділянці довжиною l_o агломерат охолоджується повітрям, що просмоктується. Сира шихта та агломерат розміщується на постілі 3 [10].

Основні параметри агломераційного процесу при режимі, що встановився, пов'язані співвідношсннням [4]:

$$\frac{l_c}{\varpi_л} = \frac{h}{\varpi_c} = \tau_c, \qquad (1.1)$$

де h – висота шару шихти;

τ_c – час спікання

Швидкість руху $\varpi_л$ має контролюватися, з метою закінчення процесу спікання на заданій довжині спікання l_c. У зоні горіння матеріал сплавляється, утворюючи пористий агломерат.

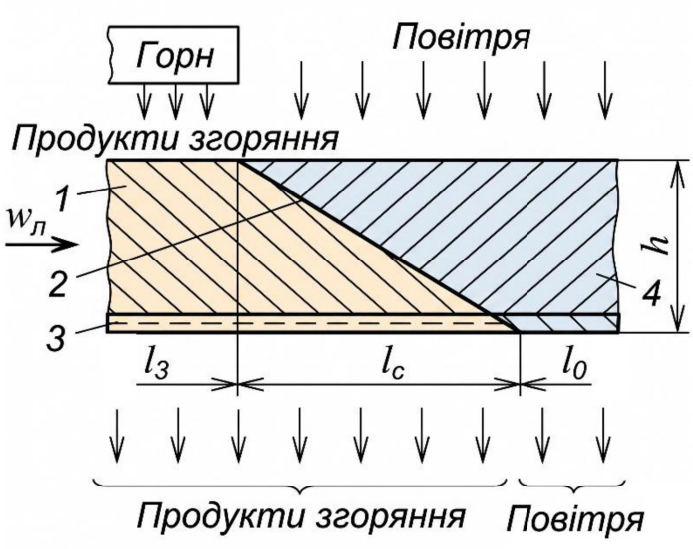


Рисунок 1.1 – Схема спікання шихти на агломашині

Температура регулюється під час процесу спікання, т.к. від цього залежить якість шихти, що спікається. При нормальному ході процесу спікання а гломерат

рівномірно спечений і при видачі зі стрічки розжарений лише на 1/3 висоти «пирога». Низька температура газів відхідних газів слугує індикатором незавершенності процесу спікання, та можливу наявність не спеченої шихти в зламі «пирога» у колосників палет. Підвищення температури газів, що відходять, в колекторі відбувається внаслідок уповільнення швидкості руху палет або короткочасної зупинки агломераційної машини; підвищення газопроникності шихти. Зниження температури газів, що відходять, в колекторі має місце при: зменшенні вмісту палива в шихті в порівнянні з оптимальним; переоплавлення поверхневого шару шихти через високу температуру запалювання; наявність великої кількості шкідливих прососів повітря; завищення швидкості руху палет.

До основного технологічного обладнання агломераційних фабрик відносяться: агломераційні машини, пристрої для уловлювання пилу (газопровід, циклони), змішувачі шихти, живильники, охолоджувачі, горни для запалювання шихти, дільники шихти, ексгаустери, гуркоти для постілі.

Аглофабрика заводу "Запоріжсталь" (рис.1.2) за проєктом обладнана типовими агломераційними машинами К-2-50 із загальною площею спікання 300 м^2 [11].

Проєктом аглофабрики заводу «Запоріжсталь» передбачено споруди:

1) 16 приймальних бункерів (по 45 м^3) для руди та концентрату, 12 бункерів (по 45 м^3) для коксового дріб'язку та штибу та 12 бункерів (по 45 м^3) для колошникового пилу;

2) дроблення вапняку у складі 3 молоткових дробарок продуктивністю 150 – 200 т/год та 12 ґуркотів, які перекривають технологічні потреби фабрики у вапняку, що містить 97 – 8,5% фракції 0 – 3 мм;

3) дроблення палива у складі п'яти чотиривалкових та однієї інерційної дробарок, що забезпечують помел палива до вмісту 95–96% класу 3–0 мм;

4) шихтове відділення, що включає 32 бункерів (по 175 м^3).

У технологічному потоці працюють дві машини ОПР для випалу вапняку з площею випалу 10 м^2 і конвеєрна машина з площею випалу 14,0 м^2. Загальна продуктивність машини ~ 900 т/добу при вмісті CaO вапна 75-86% [12].

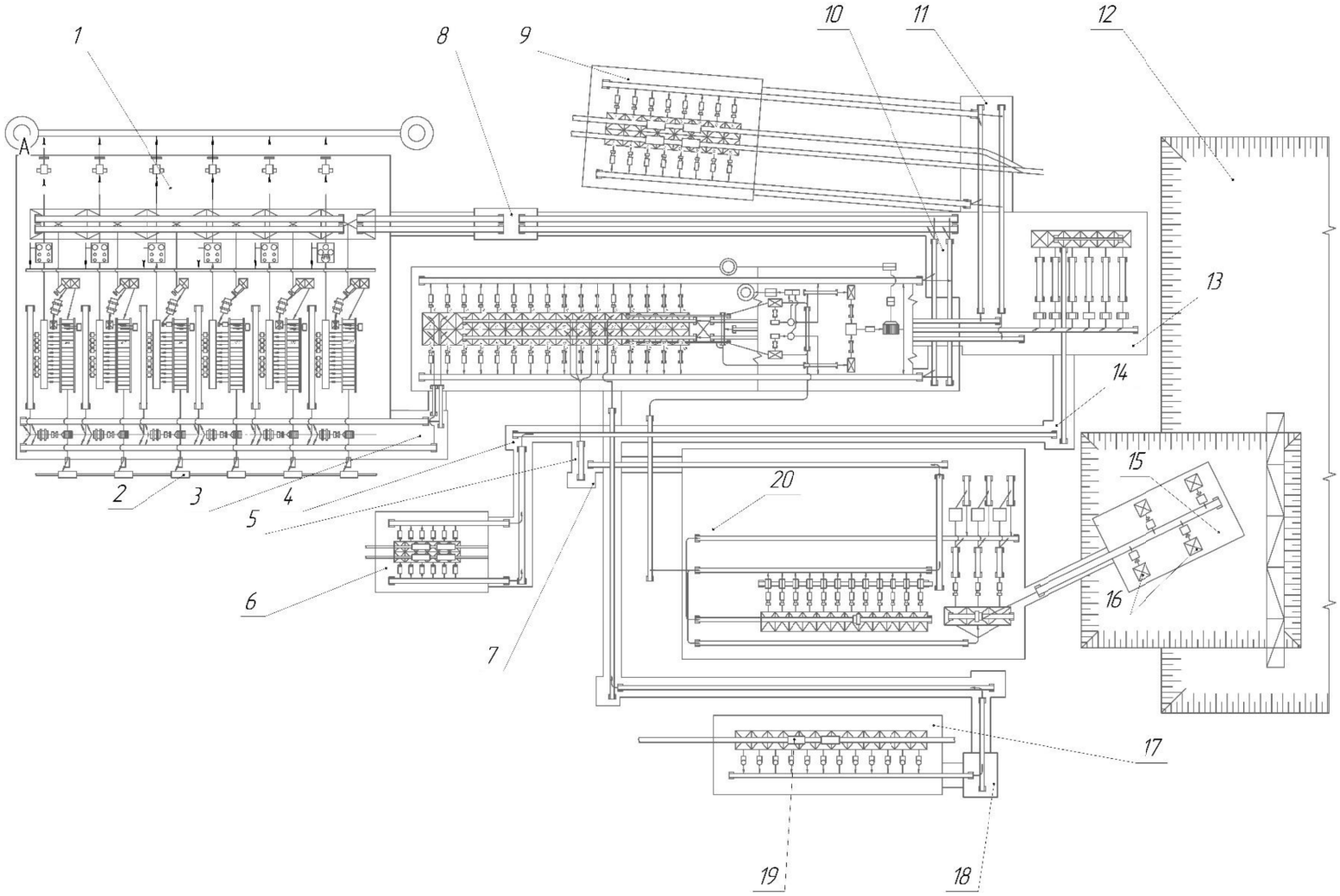


Рисунок 1.2 – Схема дільниць аглофабрики: 1 – корпус агломерації; 2, 19 – залізничні вагони; 3 – перевантажувальний вузол №5; 4 – первантажувальний вузол №2; 5 – перевантажувальний вузол №9; 6 – приймальні бункери коксу; 7 – перевантажувальний вузол №7; 8 – перевантажувальний вузол №4; 9 – приймальні бункери руди; 10 – перевантажувальний вузол №3; 11 – перевантажувальний вузол №1; 12 – рудний двір; 13 – корпус подрібнення коксу; 14 – перевантажувальний вузол №2; 15 – штабель вапняку; 16 – приймальні бункери вапняку; 17 – бункери колошникового пилу; 18 – перевантажувальний вузол №8; 20 – корпус подрібнення вапняку

Змішування, зволоження та оґрудкування шихти проєктом передбачалися в одному барабані довжиною 5 і діаметром 2,5 м, встановленому горизонтально. Наразі барабан реконструйований.

Завантаження шихти на машину здійснюється завантажувальним пристроєм на основі віброживильника, а запалення шихти - подовженим запальним горном. Повернення виділяють на стаціонарному дводічному ґуркоті, обладнаному відбійними плитами.

Дводічний ґуркіт встановлений замість одноступінчастого стаціонарного ґуркоту. Заміна була викликана наступними недоліками одноступінчастого стаціонарного ґуркоту. Велике навантаження на ґуркіт не дозволяє відсіяти необхідну кількість дрібних фракцій, внаслідок чого вони переходять в агломерат, що погіршує його якість. Також інтенсивна робота ґуркоту призводить до швидкого зношування колосників. Зазор між ними збільшується від 10 до 16-20 мм. При цьому кількість відсіву дріб'язку від агломерату збільшується і у повернення йде велика кількість придатного агломерату (зерна > 10 мм).

На дводічному ґуркоті потік агломерату, що надходить на розсів, розподіляється на дві решітки (нижню і верхню), у яких зазори між колосниками 100 та 12 мм. При цьому потік великих шматків агломерату проходить тільки по верхньому ґуркоту, а середня фракція та дрібниця переходять на нижній ґуркіт із зазором між колосниками 12 мм.

У результаті нижньому ґуркоті виявляється значно менший шар агломерату, ніж у одноступінчастому ґуркоті, тобто створюються більш сприятливі умови для відсіву дріб'язку з агломерату. Одночасно покращується і фракційний склад повернення.

Повернення охолоджується водою в барабанах, обладнаних зубчастою передачею і обертаються зі швидкістю 2,5 об/хв.

Очищення агломераційних газів здійснюється мокрим способом.

Агломерат вагонами подається до бункерів доменного цеху. Рудний двір заводу «Запоріжсталь» з двома поздовжніми розвантажувальними траншеями

8,5х4 м (для допоміжних робіт та вагоноперекидача) розташований паралельно до бункерної естакади доменного цеху. Довжина його 560, ширина 58 м.

Агломашина призначена для спікання дрібниць залізних руд з одночасним частковим очищенням їх від шкідливих домішок (сірки, фосфору, цинку та ін.).

Спрощену схему процесів та вантажопотоків виготовлення агломерату наведено на рисунку 1.3

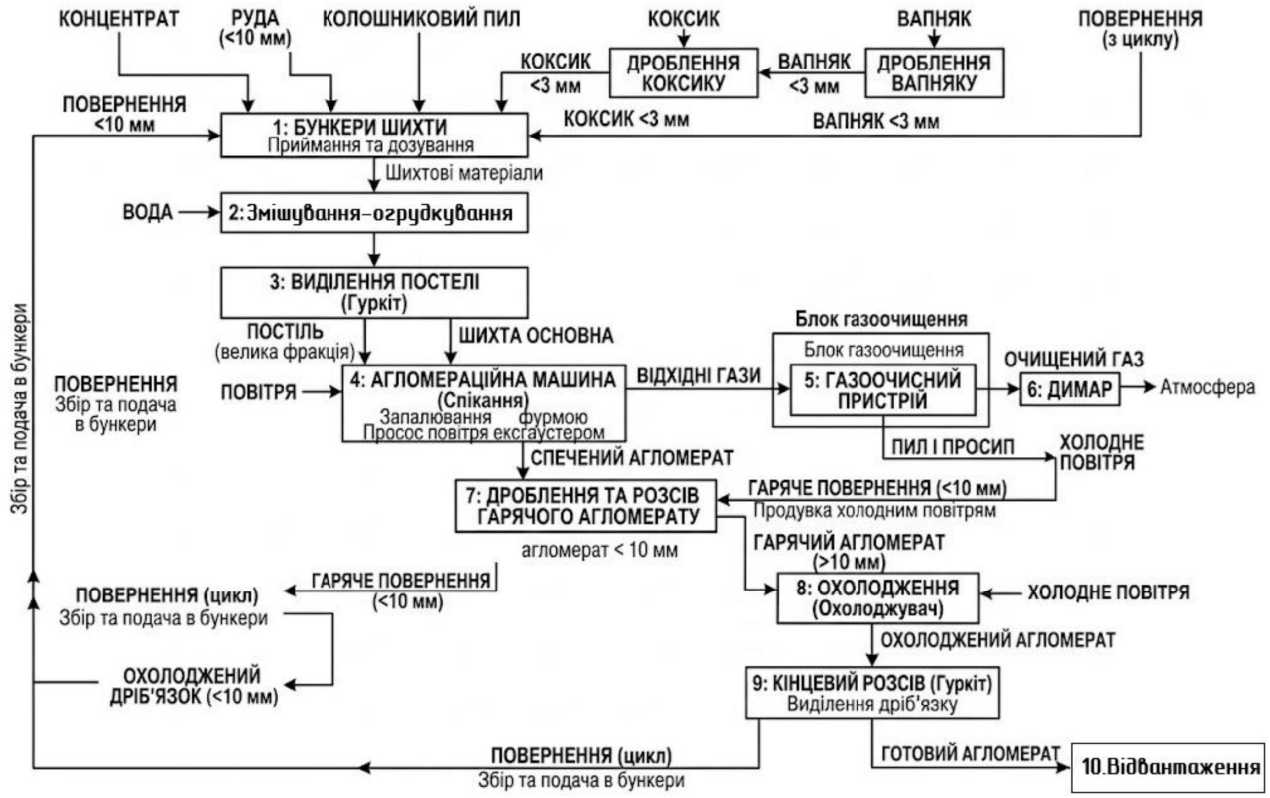


Рисунок 1.3 – Спрощена схема вантажопотоків виробництва агломерату

У бункерне господарство надходять основні компоненти залізорудної шихти: концентрат, руда, колошниковий пил, зворотний агломерат, а також паливні та флюсуючі матеріали – коксик і вапняк. Перед введенням у технологічний процес коксик проходить стадію подрібнення у чотиривалковій дробарці, а вапняк до необхідної крупності дробиться молотковою дробаркою. Після цього шихтові компоненти у встановлених пропорціях подаються живильниками на стрічковий конвеєр, який транспортує їх до вузла підготовки

шихти.

Далі матеріали надходять у барабанний змішувач та оґрудковувач. У цих агрегатах здійснюється ретельне перемішування компонентів, їх зволоження та формування ґрудочок необхідного розміру. Оґрудковування забезпечує рівномірність структури шихти та покращує умови проходження агломераційного процесу.

Підготовлена шихта спрямовується до бункерів-розподільників, де шляхом просівання відокремлюється крупна фракція, яка використовується як підстилковий шар або постіль. За допомогою живильників на рухому стрічку агломераційної машини спочатку укладається підстилковий матеріал, а поверх нього – основний шар шихти.

Під час безперервного руху візків агломераційної машини шихта проходить під запальною фурмою, де відбувається займання коксику, що міститься у суміші. Подальше спікання шихти забезпечується за рахунок інтенсивного просмоктування повітря через шар матеріалу, яке створюється ексгаустером. У результаті цього формується міцний пористий агломерат.

Ексгаустер створює необхідне розрідження у вакуум-камерах, розташованих під робочою гілкою агломераційної стрічки, що дозволяє організувати ефективну схему відведення газоподібних продуктів горіння через димову трубу. Перед викидом у атмосферу гази проходять очищення у газоочисному обладнанні, встановленому в зоні газового колектора між агломераційною машиною та ексгаустером. Тут із газового потоку видаляються пил, дрібні частинки шихти та агломерату.

Після спікання агломерат надходить до дробарки, де відбувається його первинне подрібнення, а потім – на ґуркіт для сортування за фракціями [13]. Частинки розміром менше 10 мм повертаються назад у бункери як зворотний продукт, тоді як агломерат крупністю понад 10 мм вважається придатним для використання у доменному виробництві.

Температура агломерату після процесу спікання є досить високою: у середньому вона становить 500–600 °С, а в нижніх шарах може досягати близько

1200 °С. Використання надто гарячого агломерату в доменному процесі не забезпечує суттєвої інтенсифікації відновних реакцій, і при цьому зменшує довговічність обладнання шихтоподачі та погіршує умови праці в доменному цеху. Саме тому агломерат підлягає обов'язковому охолодженню.

Охолодження здійснюється в спеціальному охолоджувачі, який розташовується після ґуркоту гарячого агломерату. У деяких випадках часткове охолодження проводять безпосередньо на хвостовій ділянці агломераційної стрічки шляхом продування шару матеріалу холодним повітрям зверху вниз або у зворотному напрямку. Подача агломерату з ґуркоту до охолоджувача виконується живильником.

Після охолодження матеріал додатково просіюється на ґуркоті, де від нього відокремлюється дріб'язок. Готовий агломерат транспортують до доменного цеху агловозами – спеціалізованими металевими залізничними вагонами – або за допомогою стрічкових конвеєрів.

1.2 Коротка технічна характеристика та призначення чотирьохвалкової дробарки

Валкові дробарки, що застосовуються на агломераційних фабриках, призначені для подрібнення твердого палива шляхом його роздавлювання та часткового стирання між робочими поверхнями валків [14]. Такі машини забезпечують отримання палива необхідної крупності, що є важливою умовою ефективного перебігу агломераційного процесу.

У сучасному агломераційному виробництві найбільшого поширення набули двовалкові та чотиривалкові дробарки (рис. 1.4). У чотиривалкових конструкціях процес дроблення відбувається у дві стадії [15]. Верхня пара валків виконує попереднє подрібнення матеріалу, тоді як нижня пара, для якої встановлюється менший робочий зазор, здійснює остаточне дроблення до необхідної фракції. Така схема дозволяє підвищити якість подрібнення та забезпечити більш рівномірний гранулометричний склад палива.

Основні вузли дробарки змонтовані у масивній станині 1, в якій розташовані дві пари валків. Валки 2, установлені по діагоналі, приводяться в обертання від електродвигунів через редуктори. Передача крутного моменту від валків 2 до валків 3 здійснюється за допомогою клинопасової передачі. Для цього використовуються клинові ремені 12, що охоплюють шківи 13 і 10, які закріплені на приводних валах валків 2 і 3. Необхідний натяг ременів підтримується спеціальними натяжними роликами 11.

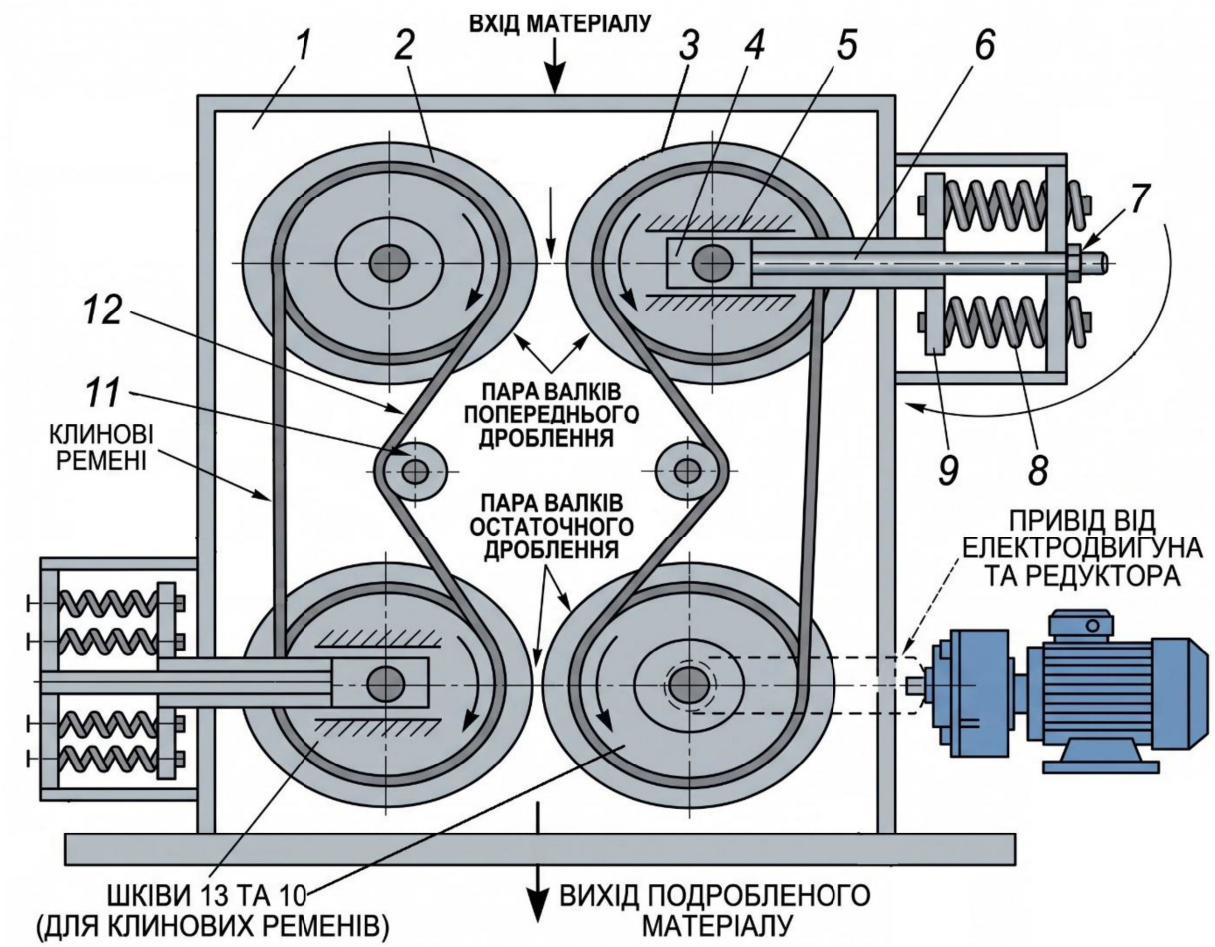


Рисунок 1.4 – Принципова схема устрою чотирьохвалкової дробарки (позиції наведено в тексті)

Опори валів рухомих валків 3 виконані у вигляді цапф, встановлених у повзунах 4, які можуть переміщуватися в напрямних 5 станини. Така конструкція забезпечує захист дробарки від перевантажень. У разі потрапляння до робочої зони

важкодробимих предметів або металевих включень валок 3 разом із повзуном зміщується відносно нерухомого валка 2. При цьому стискаються пружини 8, розташовані по три в кожному ряду, що дозволяє поглинати ударні навантаження та запобігати пошкодженню робочих органів машини. Після проходження стороннього предмета система автоматично повертає валок у початкове положення.

Регулювання величини зазору між валками, від якого безпосередньо залежить ступінь подрібнення матеріалу, здійснюється за допомогою спеціального механізму, що складається з тяги-гвинта та гайки 6 і 7, з'єднаних із повзуном. Це дозволяє точно налаштовувати дробарку відповідно до технологічних вимог виробництва.

Дробарка приводиться в дію електродвигуном змінного струму потужністю 75 кВт із номінальною частотою обертання 980 $хв^{-1}$. Електродвигун установлюється на спеціальній рамі та має можливість зміщення з фіксацією у положенні 330 мм. Передача обертального моменту на приводний вал здійснюється за допомогою семи клинових ременів. Далі через муфту крутний момент передається на нижній приводний валок. Верхні та нижні валки працюють у зустрічному напрямку обертання, завдяки чому забезпечується ефективне захоплення і подрібнення матеріалу. Для підтримання необхідного натягу ременів між верхніми та нижніми валками передбачені спеціальні натяжні пристрої.

Валки є основними робочими органами дробарки. Їхні бандажі виготовляють литтям із марганцевистої сталі марки 70ГЛ, з твердістю робочої поверхні 228–260 НВ. Якість лиття має велике значення: бандажі повинні бути щільними, без раковин та внутрішніх дефектів. Наявність раковин спричиняє утворення виробітку у вигляді струмків, що призводить до збільшення крупності подрібнення, а також ускладнює механічну обробку, викликаючи руйнування різців під час проточування.

На верхньому ряду валків установлюють бандажі з пазами. Конструктивно бандаж має два конусних посадкових гнізда: одним він монтується на корпус валка, а в друге встановлюється розпірне кільце, яке затягується вісьмома болтами. Корпус валка закріплюється на валу за допомогою ригеля

(вісетримача). Розпірне кільце має поздовжній розріз шириною 10–12 мм, що забезпечує надійне натягування бандажа на корпус. Для компенсації навантажень і запобігання самовідгвинчуванню під гайки встановлюють по три тарілчасті пружини, а контргайки додатково фіксують кільцем зі стрижня діаметром 12 мм, яке приварюється до них.

Експлуатація бандажів допускається до зношування їхнього діаметра до 750 мм. Посадкові конусні поверхні виконуються з конусністю 1:7,5. Після монтажу бандажів на вал їхні торцеві поверхні підлягають обов'язковому проточуванню для забезпечення точності посадки та рівномірності роботи.

Для забезпечення вмісту дрібного коксику фракції 0–2 мм на рівні 95–96 % нижні валки необхідно регулярно проточувати. За умов безперервної цілодобової роботи при дробленні коксику крупністю 25–40 мм таку операцію виконують приблизно один раз на добу. Верхні валки підлягають періодичному наплавленню в шаховому порядку у місцях утворення струмків за допомогою електродів. Через часті проточування строк служби нижніх бандажів є відносно невеликим і становить близько 2,5–3 місяців, тоді як верхні бандажі експлуатуються значно довше – приблизно 12–18 місяців.

Переведення дробарки в режим проточування бандажів здійснюється у визначеній технологічній послідовності. Спочатку зупиняють живильник подачі коксу та переконуються у повному спорожненні приймальної вирви. Після зупинки дробарки демонтують кожух муфти та розбирають муфту, виймаючи дерев'яні пальці. Далі знімають кожух ланцюгової передачі та встановлюють ланцюг на зірочки привідного вала і вала проточування. Після цього переводять шестерню у зачеплення із зубчастим колесом. Для попередження самовільного обертання фіксують шестерню спеціальною скобою. Після чого встановлюють ланцюг між верхнім приводним і нижнім рухомим валками. Далі шатуни переводять у нейтральне положення, вводять шестірні у зачеплення та фіксують важелі. Після демонтажу нижніх кожухів валків установлюють тримачі та закріплюють різець із твердосплавною напайкою ВК-8. Двигун дробарки вмикають у реверсивному режимі та виконують проточування бандажів.

Швидкість обробки не повинна перевищувати 1,31 м/с, подача різця на один прохід не має перевищувати 2 мм. Після завершення проточування дробарку вимикають, видаляють стружку та переводять обладнання у режим дроблення коксу шляхом виконання всіх операцій у зворотному порядку.

Категорично забороняється примусово стискати валки нижнього ряду, оскільки це може призвести до серйозних пошкоджень обладнання. У таких випадках швидко виходять з ладу вальниці валків, руйнуються корпуси вальниць, а відколювання країв бандажів пошкоджує ущільнювальні щити кожуха, що спричиняє просипання великої фракції матеріалу через торцеві зазори. Нормальний зазор між бандажами нижнього ряду повинен становити 0,5–1 мм.

На корпусах вальниць верхніх і нижніх рухомих валків встановлені пружинні амортизатори. Крім того, між станиною та нижньою подушкою розташовані товсті гумові прокладки, які знижують ударні навантаження та вібрацію. Амортизатори у зібраному стані затискаються із зусиллям до 12 000 кг. Завдяки такій конструкції при потраплянні між валками сторонніх металевих предметів рухомий валок відходить від нерухомого, стискаючи пружини амортизаторів, і пропускає сторонній предмет без пошкодження дробарки. Для забезпечення рівномірного зазору по всій довжині валка регулювання виконують за допомогою спеціального щупа.

Площадка над дробаркою обладнана захисними перилами. На плиті монтується та приварюється приймальна вирва, у бункері якої встановлюється штора. Її призначення полягає у гасінні енергії потоку коксу та забезпеченні його рівномірного розподілу за шириною і товщиною шару. Конструкція штори дозволяє виконувати коригування її розташування під час експлуатації залежно від умов роботи обладнання.

Для герметизації робочої зони між станинами встановлюють кожух валків, який зменшує запиленість та ущільнює бокові частини валків. Корпус кожуха являє собою зварну конструкцію коробчатого типу з боковинами, профіль яких відповідає формі половин станини. У верхній і нижній частинах боковин

передбачені напрямні пази для встановлення ущільнювальних засувок. Для очищення поверхонь бандажів від налиплого матеріалу під кожним валком розміщений шкребок у вигляді металевого листа товщиною 8–10 мм і довжиною близько 730 мм. Шкребок кріпиться до кронштейнів, насаджених на вісь, а притискання його до поверхні валка забезпечується важелем із вантажем.

Зазори між бічними щитами кожуха та торцями бандажів повинні підтримуватися в межах 0,5–1,5 мм. Для заміни бокового щита необхідно відкрутити кріпильні болти, встановити технологічні проміжки по 20 мм, демонтувати гвинти та відкрити кришку вирви. Після цього щит стропують за спеціальні кріплення й обережно витягують із кожуха. Монтаж нового щита виконують у зворотній послідовності, після чого регулювальними болтами встановлюють необхідний зазор і фіксують його контргайками.

Супорт дробарки складається з двох частин, з'єднаних болтами. Його переміщення здійснюється за допомогою ходового гвинта з трапецеїдальною різьбою, розташованого у спеціальному поглибленні вала. Для запобігання згинанню гвинта та виходу його із зачеплення над гайкою-шпонкою встановлена підкладка. Гайка одночасно виконує функцію шпонки супорта під час його переміщення вздовж вала. Керування супортом може здійснюватися вручну або за допомогою приводу через храповий механізм. Переміщення можливе в обох напрямках, для чого зуб механізму повертають на 180° навколо його осі.

1.3 Аналіз недоліків чотирьохвалкової дробарки та заходи щодо їхнього усунення

Дробленням називають процес руйнування твердого шматкового матеріалу на більш дрібні частини під дією зовнішніх механічних сил. Машини, призначені для виконання цього процесу, називаються дробарками. Прийнято вважати, що до дроблення належить такий вид руйнування матеріалу, при якому основна маса готового продукту має розміри понад 5 мм. Якщо ж у результаті обробки весь матеріал має крупність менше 5 мм, процес відносять до

подрібнення. Межа у 5 мм є умовною та може змінюватися залежно від фізико-механічних властивостей матеріалу і технологічних вимог виробництва [16].

За технологічним призначенням обладнання для руйнування матеріалів поділяють на дробарки та млини. Між цими типами машин існує суттєва конструктивна та технологічна відмінність. У дробарках робочі органи під час роботи не мають безпосереднього контакту між собою. Навіть у режимі холостого ходу між елементами, що дроблять матеріал, зберігається певний зазор. Саме наявність цього зазору є характерною ознакою дробарок. У процесі роботи він заповнюється матеріалом, який і піддається руйнуванню.

Абразивний знос виникає при терті ковзання і наявності між поверхнями, що контактують твердих абразивних часток, що викликають пластичну деформацію і руйнування поверхневих шарів тертьових деталей. Це найбільш поширений вид зношення деталей металургійного обладнання, що визначає термін їх служби.

Найбільш піддаються зносу в валковій дробарці бандажі валків, футеровочні або броньові плити. Їх працездатний стан залежить від міцності дробленого матеріалу та інших фізико-хімічних властивостей. Зношені бандажі відновлюються шляхом наплавлення порошковим дротом або твердими сплавами з наступною проточкою на ремонтний розмір. Зношені і пошкоджені валки видаляють і на їх місце встановлюють нові або відновлені.

З іншого боку способи дроблення та подрібнення відрізняються характером деформацій, що виникають у матеріалі та спричиняють його руйнування. Найчастіше руйнування відбувається під дією стиску, удару, стирання, згину або їх поєднання. Для валкових дробарок основними механізмами руйнування є роздавлювання та часткове стирання матеріалу між поверхнями валків.

Під час експлуатації чотиривалкової дробарки робочі елементи машини зазнають значних ударних навантажень, що призводить до поступового зношування бандажів валків і робочої частини зева рами дробарки. У процесі проведення поточних ремонтів відновлення геометричних розмірів зева

виконується методом електродугового наплавлення зношених поверхонь. Після наплавлення для досягнення необхідної точності та відповідності розмірів проводять додаткову механічну обробку робочої поверхні за допомогою пневматичної шліфувальної машинки. Однак застосування таких ремонтних операцій супроводжується значними трудовими витратами та збільшенням тривалості ремонтних робіт. Крім того, забезпечити високу точність відновлення геометрії зева в умовах ручної обробки досить складно. Недостатня точність призводить до нерівномірного контакту робочих поверхонь, що, у свою чергу, спричиняє прискорене зношування інших елементів дробарки.

Для скорочення тривалості ремонтів, зменшення трудомісткості робіт та підвищення точності відновлення геометричних параметрів пропонується модернізація конструкції зева рами дробарки. Суть удосконалення полягає у встановленні змінних напрямних, виготовлених зі сталі 45, на найбільш зношувані робочі поверхні зева. Напрямні кріпляться до рами за допомогою болтів М20, що забезпечує простоту їх монтажу та демонтажу.

У процесі експлуатації зношені напрямні можна швидко замінити новими без виконання трудомістких наплавлювальних робіт. Відновлення до базових геометричних розмірів і регулювання положення напрямних пропонується здійснювати за допомогою підкладок різної товщини, які встановлюються під змінні елементи. Такий підхід дозволяє значно підвищити точність регулювання та забезпечити стабільність роботи дробарки.

Крім того, як один із напрямів модернізації пропонується застосовувати автоматичне наплавлення бандажів валків твердими сплавами не лише під час їх ремонту, а вже на етапі виготовлення. Використання зміцнених покриттів дозволить підвищити зносостійкість робочих поверхонь валків, зменшити інтенсивність їх спрацювання та збільшити міжремонтний ресурс обладнання.

Запропоновані технічні рішення дадуть можливість суттєво підвищити точність відновлення робочих поверхонь, скоротити трудові витрати на ремонт і технічне обслуговування дробарки, збільшити терміни служби основних вузлів та, відповідно, зменшити тривалість простоїв обладнання.

2 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

2.1 Розрахунок потужності та вибір електродвигуна чотирьохвалкової дробарки

За основу розрахунку візьмемо технічну характеристику дробарки та параметри технологічного процесу (таблиця 2.1)

Таблиця 2.1 – Вихідні дані до розрахунку приводу чотирьохвалкової дробарки

№	Найменування параметру	Значення
1.	Продуктивність, год.	18
2.	Діаметри валків, мм	950
3.	Довжина валків, мм	700
4.	Оберти валків нижньої пари, $хв^{-1}$	200
5.	Оберти валків верхньої пари, $хв^{-1}$	110,5
6.	Частота обертання валків при проточуванні, $хв^{-1}$	23,7
7.	Зусилля притиснення пари валків пружинним пристроєм, кН	118
8.	Тип (модель) живильника дробарки	стрічковий
9.	Мережа живлення: напруга, В частота, Гц	220/380 50
10.	Маса дробарки, кг	37200
11.	Найбільша маса одного вузла, що монтується, кг	4730
12.	Габаритні розміри, без завантажувальної та вивантажувальної вирви, мм Довжина Ширина Висота	 5690 4965 3557

Схему до розрахунку кута захоплення валками дробарки матеріалу [17] та потужності дроблення наведено на рисунку 2.1

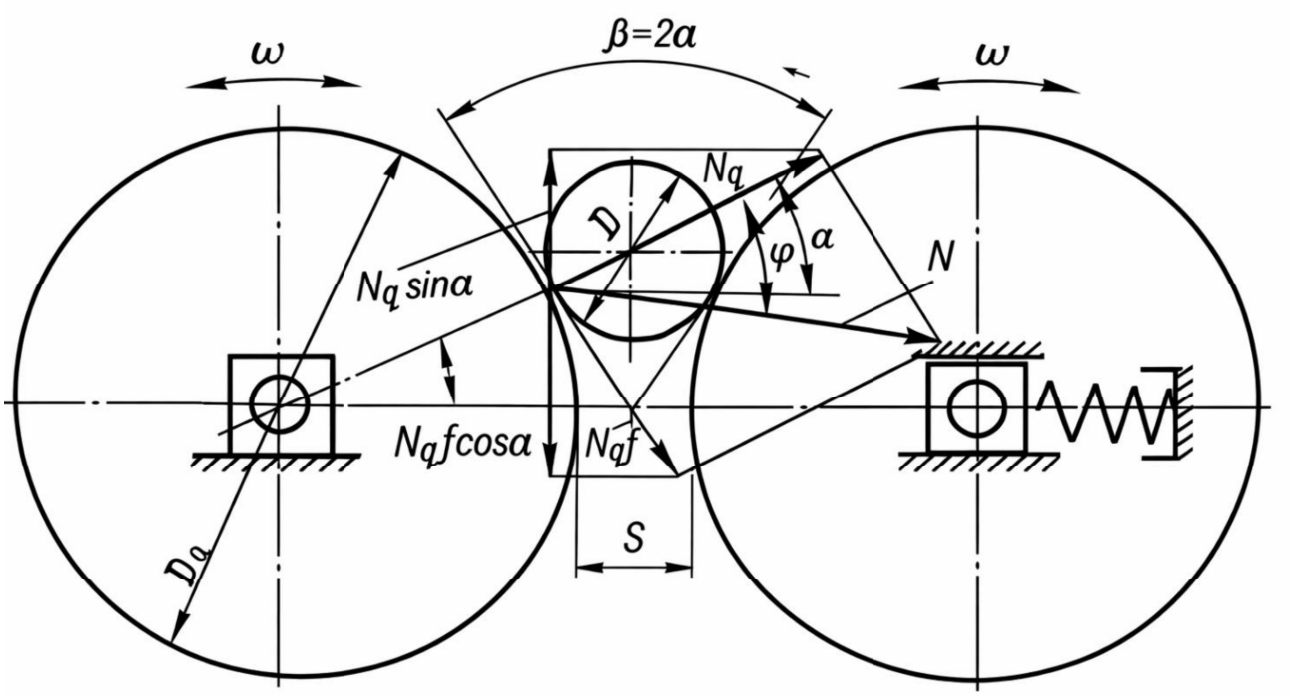


Рисунок 2.1 – Схема до визначення потужності дроблення в чотирьохвалковій дробарці

З аналізу розрахункової схеми (рис.2.1) потужність приводу валкової дробарки визначається як сума двох складових:

$$P = P_1 + P_2 , \qquad (2.1)$$

де P – загальна потужність;

P_1 – потужність, що витрачається безпосередньо на дроблення матеріалу;

P_2 – потужність, яка втрачається на подолання сил тертя в опорних вальницях.

Визначаємо потужність, що витрачається безпосередньо на дроблення матеріалу [18]:

$$P_1=M_{тр}\cdot\omega_в=N_д\cdot f\frac{D_в}{2}\cdot\omega_в, \quad (2.2)$$

де $M_{тр}$ – момент тертя, що створюється силою тиску матеріалу на валок;

$N_д$ – зусилля дроблення;

$\omega_в$ – кутова швидкість валка;

f – коефіцієнт тертя між валком та матеріалом (tg16°);

$D_в$ – діаметр валка.

Визначаємо максимально допустиму кутову швидкість валків, $с^{-1}$:

$$\omega\leq 20\sqrt{\frac{f_1}{D\cdot D_в\cdot\gamma}}, \quad (2.3)$$

де f_1 – коефіцієнт тертя між валком та матеріалом;

D – діаметр подрібнених шматків матеріалу, м;

$D_в$ – діаметр валка, м;

γ – об'ємна маса матеріалу, приймаємо 3,2 т\м^3.

Визначаємо коефіцієнт тертя між валком та матеріалом:

$$f_1=tg\rho, \quad (2.4)$$

де ρ – кут тертя:

$$\rho=\frac{\beta}{2}=\alpha, \quad (2.5)$$

Визначаємо сумарне зусилля дроблення, кН:

$$N_д=\sigma_{ст}\cdot F\cdot\mu=\sigma_{ст}\cdot L\cdot l\cdot\mu, \quad (2.6)$$

де $\sigma_{ст}$ – межа міцності матеріалу при стисканні, 250 кПа;

μ – коефіцієнт розпушування матеріалу (для міцних порід μ =0,2…0,3);

F – площа на яку діє зусилля, яка визначається як:

$$F=L\cdot l,$$

де L – довжина валка;

l – довжина дуги на ділянці подрібнення.

$$l=D_в\cdot\alpha, \quad (2.7)$$

де α – кут дуги, рад.

Значення кута α для міцних матеріалів $16^\circ 40'$, тоді довжина дуги для міцних матеріалів дорівнює

$$l=0.145D_в, \quad (2.8)$$

Підставивши значення μ и l, для міцних порід отримаємо:

$$N_д\approx 0,04\cdot\sigma_{сж}LD_в \quad (2.9)$$

Визначаємо потужність, що витрачається на подолання тертя у вальницях:

$$P_2=60\cdot Rf_{пр}d_ц\omega_в, \quad (2.10)$$

де R – навантаження на вальницю;

$f_{пр}$ – наведений коефіцієнт тертя вальниці кочення (0,002);

$d_ц$ – діаметр цапфи валу (170 мм).

Визначаємо навантаження на вальницю:

$$R=\sqrt{N_д^2+G_в^2}, \tag{2.11}$$

де $G_в$ – вага валка.

Визначаємо потужність електродвигуна чотирьохвалкової дробарки, кВт:

$$P_{дв}=\frac{P_{об1}+P_{об2}}{\eta_п}, \tag{2.12}$$

де $\eta_п=\eta_1\cdot\eta_2\cdot\eta_3\cdot\eta_4$ – ККД приводу.

Розраховуємо верхню пару валків, що виконує попереднє дроблення матеріалу.

Визначаємо сумарне зусилля дроблення, кН:

$$N_д\approx 0{,}04\cdot\sigma_{ст}LD_в=0{,}04\cdot250\cdot0{,}7\cdot0{,}95=6{,}65 \text{ кН}. \tag{2.13}$$

Згідно технологічної схеми приводу чотирьохвалкової дробарки визначаємо максимально допустиму кутову швидкість валків, $с^{-1}$:

$$\omega_{доп}\leq 20\sqrt{\frac{f_1}{D\cdot D_в\cdot\gamma}}=20\cdot\sqrt{\frac{0{,}29}{0{,}04\cdot0{,}95\cdot3.2}}=31{,}09 \text{ с}^{-1} \tag{2.14}$$

Оптимальну кутову швидкість валків визначаємо з умови:

$$\omega_{опт}=[0{,}3\text{-}0{,}5]\cdot\omega_{доп}, \tag{2.15}$$

$$\omega_{опт}=0{,}355\cdot31{,}09=11{,}04 \text{ с}^{-1}. \tag{2.16}$$

Визначаємо потужність, що витрачається на дроблення матеріалу:

$$P_1=N_д\cdot f\frac{D_в}{2}\cdot\omega_в=6,65\cdot0,29\frac{0,95}{2}\cdot11,04=10,11\text{ кВт.} \qquad (2.17)$$

Визначаємо навантаження на вальницю:

$$R=\sqrt{N_д^2+G_в^2}=\sqrt{6,65^2+(4175\cdot9,81)^2}=41,54\text{ кН.} \qquad (2.18)$$

Визначаємо потужність, що витрачається на подолання тертя у вальницях:

$$P_2=60\cdot Rf_{пр}d_ц\omega_в=60\cdot41,54\cdot0,002\cdot0,17\cdot11,04=9,36\text{ кВт.} \qquad (2.19)$$

Визначаємо потужність, що витрачається на дроблення верхньою парою валків:

$$P_{об1}=P_1+P_2=10,11+9,36=19,47\text{ кВт.} \qquad (2.20)$$

Виконаємо розрахунок нижньої пари валків, що виконує остаточне дроблення матеріалу.

Визначаємо сумарне зусилля дроблення, кН:

$$N_д\approx0,04\cdot\sigma_{ст}LD_в=0,04\cdot250\cdot0,7\cdot0,95=6,65\text{ кН.} \qquad (2.21)$$

Визначаємо максимально допустиму кутову швидкість валків, $с^{-1}$:

$$\omega_{доп}\leq20\sqrt{\frac{f_1}{D\cdot D_в\cdot\gamma}}=20\cdot\sqrt{\frac{0,29}{0,008\cdot0,95\cdot3.2}}=69,52\text{ с}^{-1} \qquad (2.22)$$

Оптимальну кутову швидкість валків визначаємо з умови:

$$\omega_{опт}=[0,3\text{-}0,5]\cdot\omega_{доп}, \quad (2.23)$$

$$\omega_{опт}=0,301\cdot69,52=20,94с^{-1}. \quad (2.24)$$

Визначаємо потужність, що витрачається на дроблення матеріалу:

$$P_1=N_д\cdot f\frac{D_в}{2}\cdot\omega_в=6,65\cdot0,29\frac{0,95}{2}\cdot20,94=19,18\text{ кВт}. \quad (2.25)$$

Визначаємо навантаження на вальницю:

$$R=\sqrt{N_д^2+G_в^2}=\sqrt{6,65^2+(4175\cdot9,81)^2}=41,54\text{ кН}. \quad (2.26)$$

Визначаємо потужність, що витрачається на подолання тертя у вальницях:

$$P_2=60\cdot Rf_{пр}d_ц\omega_в=60\cdot41,54\cdot0,002\cdot0,17\cdot20,94=17,74\text{ кВт}. \quad (2.27)$$

Визначаємо потужність, що витрачається на дроблення верхньою парою валків:

$$P_{об1}=P_1+P_2=19,18+17,74=36,92\text{ кВт}. \quad (2.28)$$

Визначаємо потужність приводу дробарки [19]:

$$P_{дв}=\frac{P_{об1}+P_{об2}}{\eta_1\cdot\eta_2\cdot\eta_3\cdot\eta_4}=\frac{19,47+36,92}{0,96\cdot0,93\cdot0,93\cdot0,93}=73,23\text{ кВт}. \quad (2.29)$$

Згідно з наведеними розрахунками вибираємо електродвигун: тип – 4АМ280S6У3, N=75 кВт, n= 980 хв$^{-1}$ [20], кінематична схема приводу – рис. 2.2

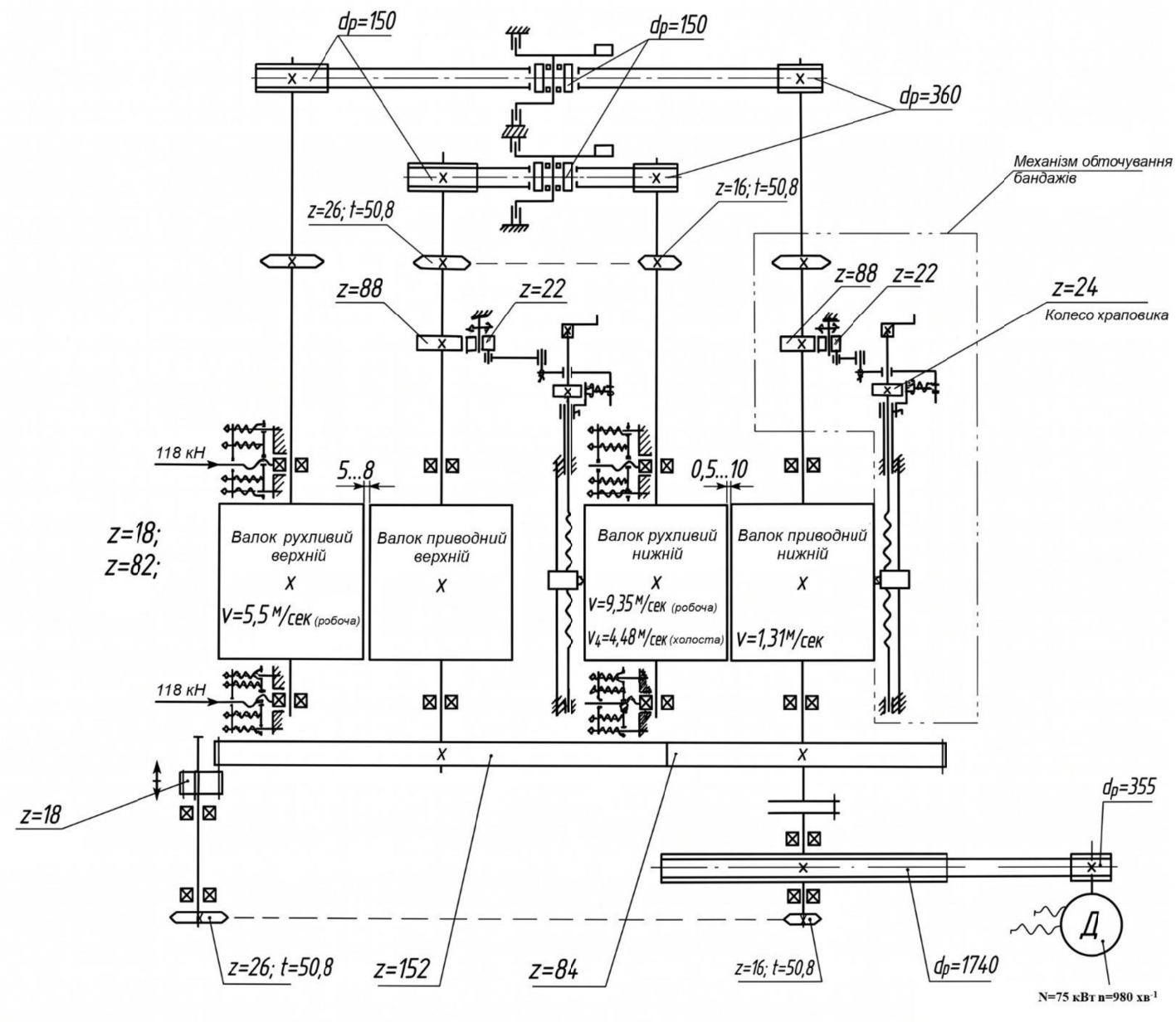


Рисунок 2.2 – Кінематична схема приводу чотирьохвалкової дробарки

3.2 Розрахунок робочого валка чотирьохвалкової дробарки на міцність та деформацію

Розрахунок робочого валка чотирьохвалкової дробарки на міцність та деформацію виконаємо згідно наступних даних:

- середній питомий тиск, МПа $P_{ср} = 0,25$
- максимальна величина дроблення фракції коксу, мм $\Delta h = 4$
- ширина потоку коксу, що подається, мм $b = 500$
- мінімальна фракція коксу після дроблення, мм $h_{min}=0,5$
- межа міцності матеріалу валків, МПа $\sigma_в = 600$
- крутний момент, що передається, Нм $Mp = 69$
- розрахункова схема рис.2.3

Діаметр бочки вибираємо з умови необхідної крупності коксу:

$$D \leq (1500...2000)\, h_{min} = (1500...2000)\cdot 0.5 = 750...1000 \text{ мм}; \quad (2.30)$$

приймаємо D = 950 мм.

Максимальна ширина потоку коксу, що подається стрічковим живильником визначає загальну довжину бочки робочого валка дробарки:

$$L = b + (100...400) = 500 + 200 = 700 \text{ мм}. \quad (2.31)$$

Діаметр шийки вибираємо залежно від типів вальниць d = 170 мм.

Довжину шийки приймаємо із конструктивних міркувань – l = 160 мм.

Діаметр кінцевої частини із конструктивних міркувань – d_l=100 мм.

Довжину кінцевої частини із конструктивних міркувань c = l/2 = 80 мм.

Відстань між шийками валка a = 1500 мм.

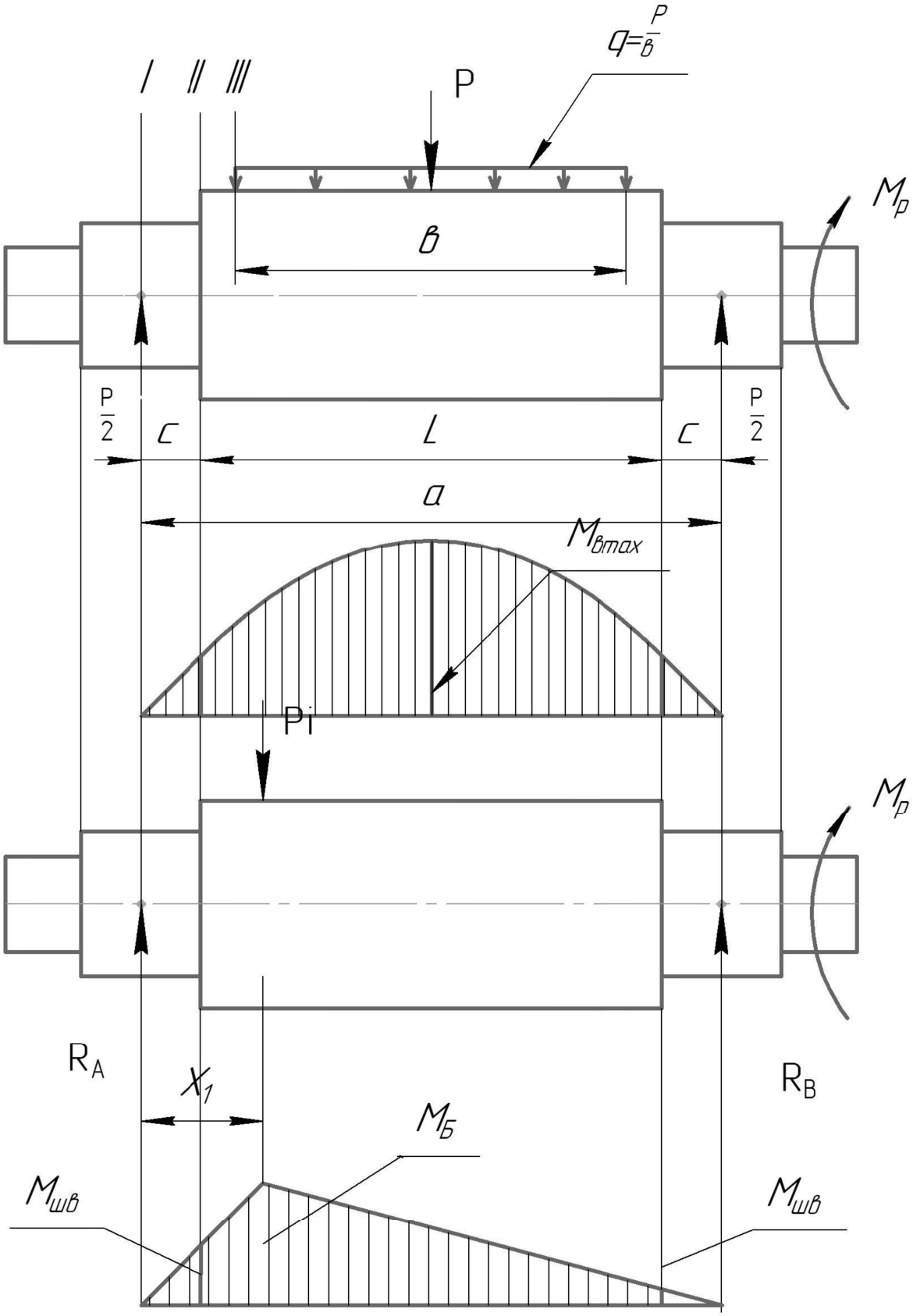


Рисунок 2.3 – Схема до розрахунку робочого валка чотирьохвалкової дробарки на міцність та деформацію

Згідно розрахунковій схемі (рис.2.3) при перевірці міцності валка бочку розраховують лише на вигин, шийку – на вигин та кручення, кінцеву частину – на кручення [21]. З огляду на це умовами міцності будуть.

Для бочки.

Сила дроблення:

$$P = Pcp \cdot b \cdot \sqrt{\Delta h \cdot R} = 0{,}25 \cdot 500\sqrt{4 \cdot 475} = 5{,}4 \text{ кН}. \quad (2.32)$$

Згинальний момент:

$$M_Б = P\left(\frac{a}{4} - \frac{b}{8}\right) = 5{,}4 \cdot 10^3 \left(\frac{1500}{4} - \frac{500}{8}\right) = 0{,}17 \text{ МНм} \quad (2.33)$$

Тоді напруження вигину буде:

$$\sigma_в = \frac{M_б}{0{,}1 \cdot D^3} = \frac{0{,}17 \cdot 10^9}{0.1 \cdot 950^3} = 19{,}8\text{кПа} < 120 \text{ МПа}, \quad (2.34)$$

$$[\sigma] = \frac{\sigma_B}{5} = \frac{600}{5} = 120 \text{ МПа}, \quad (2.35)$$

$$\sigma_Б < [\sigma]. \quad (2.36)$$

Таким чином умову міцності бочки виконнано.

Для шийки валка.

Момент на шийці валка:

$$M_ш = \frac{P \cdot c}{2} = \frac{5{,}4 \cdot 10^3 \cdot 80}{2} = 2{,}2 \cdot 10^3 \text{ Нм} \quad (2.37)$$

Напруження на шийці валка:

$$\sigma_{шн} - \frac{M_ш}{0,1 \cdot d^3} - \frac{2,2 \cdot 10^6}{0.1 \cdot 170^3} - 0,45 \text{ МПа} \quad (2.38)$$

Відносне напруження шийки валка:

$$\tau = \frac{M_р}{0,2 \cdot d^3} = \frac{2,2 \cdot 10^6}{0.2 \cdot 170^3} = 0,23 \text{ МПа}. \quad (2.39)$$

Тоді міцність шийки:

$$\sigma_ш = \sqrt{\sigma_{шн}^2 + 3 \cdot \tau^2} = \sqrt{0,45^2 + 3 \cdot 0,23^2} = 0,6 \text{ МПа} \quad (2.40)$$

$$\sigma_ш = 0,6 \text{ МПа} < [\sigma] = 120 \text{ МПа}. \quad (2.41)$$

Умова міцності виконується.

Для кінцевої частини циліндричної форми.

Відносне напруження для кінцевої частини:

$$\tau_1 = \frac{Mp}{0,2 \cdot d_1^{\,3}} = \frac{69 \cdot 10^3}{0.2 \cdot 100^3} = 0,35 \text{ МПа}. \quad (2.42)$$

Дотичне напруження, що допускається:

$$[\tau] = 0,6[\sigma] = 0,6 \cdot 120 = 72 \text{ МПа}, \quad (2.43)$$

$$\tau_1 = 0,35 \text{ МПа} < [\tau] = 72 \text{ МПа}. \quad (2.44)$$

Умова забезпечення міцності шийок робочих валків виконується.

Для визначення скильності валка до деформації необхідно визначити прогини валка під дією зусилля дроблення та порівняти отримані значення з допустимими.

Момент інерції перерізу шийки валка:

$$I_1=\frac{\pi\cdot d^4}{64}=\frac{3.14\cdot 0.17^4}{64}=0.00004\ м^4 \quad (2.45)$$

Момент інерції бочки валка:

$$I_2=\frac{\pi\cdot D^4}{64}=\frac{3.14\cdot 0{,}95^4}{64}=0.04\ м^4 \quad (2.46)$$

Площа перерізу шийки валка:

$$F_1=\frac{\pi\cdot d^2}{4}=\frac{3.14\cdot 0.17^2}{4}=0.023\ м^2 \quad (2.47)$$

Площа перерізу бочки валка:

$$F_2=\frac{\pi\cdot D^2}{4}=\frac{3.14\cdot 0{,}95^2}{4}=0.708\ м^2 \quad (2.48)$$

Модуль пружності матеріалу, $E = 2{,}1 \cdot 10^5$ Н/мм²

Модуль зсуву матеріалу валка, $G = 0.75 \cdot 105$ Н/мм²

Геометричні параметри a, b, c, наведені раніше.

Тоді прогин валка в перерізі шийки та бочки відповідно буде дорівнювати:

$$f_1=\frac{P}{384\cdot E\cdot I1}\left[8a^3-4ab+b^3+64c^3\left(\frac{I1}{I2}-1\right)\right]=$$

$$=\frac{5{,}4\cdot10^{3}}{384\cdot2.1\cdot10^{11}\cdot0.00004}\left[8\cdot1{,}5^{3}-4\cdot1{,}5\cdot0{,}5^{2}+0{,}5^{3}+64\cdot0.08^{3}\left(\frac{0.00004}{0.04}-1\right)\right]=0{,}04\text{ мм.}\qquad(2.49)$$

$$f2=\frac{P}{4\cdot G\cdot F2}\left[a-\frac{b}{2}+2c\left(\frac{F2}{F1}-1\right)\right]=$$

$$=\frac{5{,}4\cdot10^{3}}{4\cdot0.75\cdot10^{11}\cdot0.708}\left[1{,}5-\frac{0{,}5}{2}+2\cdot0.08\left(\frac{0.708}{0.023}-1\right)\right]=0{,}00153\text{ мм}\qquad(2.50)$$

Сумарний прогин валка:

$$f = f_1 + f_2 = 0{,}04 + 0.0015 = 0{,}041\text{ мм} < [f] = 0{,}05...0{,}2\text{ мм},\qquad(2.51)$$

Таким чином умову збереження лінійних розмірів з оогляду на відсутність прогину виконано.

3.3. Вибір кріпильних та опорних вузлів робочих валків чотирьохвалкової дробарки

Для вибору шпонок скористаємося наступними вихідними даними:

– матеріали шпонок — сталь 45
– вид термообробки — нормалізація
– переданий крутний момент — $M_{кр}$ = 5,9 кН·м
– допустиме напруження на зминання — $[\sigma]_{зм}$ = 120 МПа

Обираємо призматичні шпонки з наступними розмірами:

При діаметрі d_1 = 140 мм:

– ширина шпонки — b_1 = 40 мм
– висота шпонки — t_1 = 14 мм

При діаметрі d_2 =252 мм:

– ширина шпонки — b_2 = 125 мм
– висота шпонки — t_2 = 45 мм

Напруження на зминання

Для перетину Λ – Λ

$$\sigma_{зм}=\frac{2M}{d_1\cdot l_p\cdot (b-t_1)}<[\sigma]_{зм}, \quad (2.52)$$

де l_p – розрахункова довжина шпонки:

$l_p = l - b = 140 - 40 = 100$ мм (для перетину А - А);

$l_p = l - b = 252 - 60 = 192$ мм (для перетину В - В);

$$\sigma_{зм}=\frac{2\cdot 5{,}9\cdot 10^6}{140\cdot 100\cdot (32-14)}=46{,}8\text{МПа} \quad (2.53)$$

Для перетину В – В:

$$\sigma_{зм}=\frac{2M}{d_2\cdot l_p\cdot (b_2-t_2)}<[\sigma]_{зм} \quad (2.54)$$

$$\sigma_{зм}=\frac{2\cdot 5{,}9\cdot 10^6}{252\cdot 192\cdot (45-125)}=11{,}8\text{МПа} \quad (2.55)$$

Дотичне напруження при зрізі

$$\tau_{зр}=\frac{2T}{d\cdot I\cdot B}<[\tau]_{зр}, \quad (2.56)$$

де $[\tau]_{зр}$ – допустиме дотичне напруження при зрізі:

$$[\tau]_{зр} = 0{,}6[\sigma]_{зм} = 0{,}6\cdot 120 = 72 \text{ МПа}$$

Для перетину А – А

$$\tau_{зр}=\frac{2\cdot 5{,}9\cdot 10^{6}}{140\cdot 100\cdot 40}=21{,}07\ \text{МПа}$$

Для перетину В – В

$$\tau_{зр}=\frac{2\cdot 5{,}9\cdot 10^{6}}{252\cdot 192\cdot 60}=3{,}9\ \text{МПа} \qquad (2.57)$$

Що підтверджує правільність прийнятих конструктивних рішень при обранні шпонок.

Для вибору опор робочих валків чотирьохвалкової дробарки , що базуються на вальницях кочення, скористаємося наступними даними:

- динамічне навантаження l =1320 кН
- частота обертання вала n = 750 хв$^{-1}$
- діаметри посадочних місць d_b = 170 мм

Для посадочних місць вала обираємо дворядні сферичні вальниці серії 3534, які мають наступні геометричні розміри – d x D x d = 170 x 360 x 120

Осьове навантаження:

$$F_р = R_{AΣ} = 37{,}5\ \text{кН} \qquad (2.58)$$

Величина еквівалентного навантаження:

$$F_{екв} = F_р\cdot V\cdot K_σ\cdot K_T, \qquad (2.59)$$

де K_T – температурний коефіцієнт K_T = 1,05;

$K_σ$ – коефіцієнт безпеки $K_σ$ = 1,8;

V – коефіцієнт при обертанні внутрішнього колеса V = 1;

$$F_{екв} = 37,5 \cdot 1 \cdot 1,05 \cdot 1,8 = 70,9 \text{ кН} \quad (2.60)$$

Номінальна довговічність вальниці.

$$L=\left(\frac{c}{F_{екв}}\right)^{\frac{10}{6}} = \left(\frac{1320}{70,9}\right)^{\frac{10}{3}} = 15466,5 \text{ млн.об.} \quad (2.61)$$

Розрахункова довговічність:

$$L_R=\frac{L \cdot 10^6}{60 \cdot 12,92}, \quad (2.62)$$

$$L_R=\frac{15466,5 \cdot 10^6}{60 \cdot 12,92}=34 \cdot 10^4 \text{ год} \quad (2.63)$$

Що відповідає виробничим вимогам технологічного процесу, оттже необхідна довговічність опор робочих валків чотирьохвалкової дробарки, що базуютьсся на вальницях кочення, забезпечена.

Однією з найбільш поширених несправностей валкової дробарки є поява підвищеної вібрації під час роботи. Основними причинами цього можуть бути нерівномірний знос бандажів валків, порушення балансування обертових частин, послаблення кріплень або перекіс валків. Для усунення вібрації виконують балансування валків, перевіряють стан вальниць та надійність кріплення елементів конструкції. Своєчасне усунення вібрації дозволяє зменшити динамічні навантаження на вузли дробарки, запобігти прискореному зношуванню деталей і продовжити термін служби обладнання.

3 ЕКСПЛУАТАЦІЙНА ЧАСТИНА

3.1 Розробка карти змащування. Вибір мастильних матеріалів та системи змащування і для тертьових деталей дробарки

Основними робочими елементами валкової дробарки є валки, які безпосередньо здійснюють процес руйнування матеріалу шляхом його стискання та часткового стирання. У процесі експлуатації робочі поверхні валків, а також інші елементи дробарки піддаються інтенсивному абразивному та ударному зношуванню. Особливо швидко зношуються бандажі валків, що призводить до погіршення якості дроблення, збільшення енергоспоживання та необхідності частих ремонтів. У зв’язку з цим важливого значення набуває застосування комплексу заходів, спрямованих на підвищення довговічності деталей та збільшення міжремонтного періоду роботи обладнання. До таких заходів належать правильний вибір конструкційних матеріалів, використання зносостійких наплавлень, проведення термічної обробки, а також удосконалення умов подачі матеріалу до дробарки.

У процесі роботи значних навантажень зазнають також футеровочні та броньові плити корпусу дробарки. Під дією постійних ударів і тертя на їх робочих поверхнях виникають деформації, наклеп та нерівномірний знос. Під час дроблення матеріалів середньої та підвищеної міцності доцільно застосовувати високомарганцеві сталі типу Г13. Особливістю таких сталей є їх здатність до зміцнення внаслідок наклепу: у процесі роботи твердість поверхневого шару може збільшуватися у 1,5–2 рази, що значно підвищує стійкість деталей до абразивного спрацювання та ударних навантажень.

Найбільш інтенсивному зношуванню у валкових дробарках піддаються бандажі валків, броньові плити та колосникові решітки. Ступінь їх зносу визначається насамперед фізико-механічними властивостями матеріалу, що дробиться, зокрема його твердістю, міцністю, вологістю та абразивністю. Для

відновлення працездатності зношених бандажів застосовують наплавлення порошковим дротом або твердосплавними матеріалами з подальшою механічною обробкою до ремонтного розміру. У випадку значного зносу або появи тріщин валки демонтують та замінюють новими чи відновленими. Броньові плити рекомендується замінювати при зменшенні їх товщини приблизно на 50 % від початкового розміру або при виявленні тріщин, відколів чи інших дефектів, які можуть вплинути на безпечну експлуатацію обладнання.

Для виготовлення бандажів і футеровочних елементів доцільно використовувати вуглецеві сталі з подальшим зміцненням робочих поверхонь шляхом наплавлення спеціальними електродами типу 12АН або марганцевими сплавами. У результаті такого зміцнення поверхневий шар набуває підвищеної твердості та стійкості до абразивного спрацювання. Під дією наклепу твердість наплавленого шару додатково збільшується, що позитивно впливає на довговічність деталей і дозволяє суттєво скоротити витрати на ремонт та технічне обслуговування.

Колосникові решітки валкової дробарки працюють в умовах постійного стирання та ударного навантаження, тому зазвичай експлуатуються до повного спрацювання, після чого замінюються новим комплектом. Відновлення таких деталей у більшості випадків є економічно недоцільним. Оскільки процес дроблення на колосниках супроводжується інтенсивним тертям матеріалу, для їх виготовлення рекомендується використовувати сталі з високою твердістю та достатньою ударною в’язкістю. Найкраще цим вимогам відповідають сталі марок 45Х, 30ХГС та 60СГ. Після виготовлення колосники піддають термічній обробці — загартуванню до твердості 230–350 НВ, що забезпечує високу зносостійкість та тривалий строк служби.

Для виготовлення броньових плит корпусу дробарки ефективним є застосування сталі марки 65Г з подальшою термічною обробкою. Дана сталь характеризується підвищеною міцністю та зносостійкістю і за експлуатаційними властивостями приблизно у 1,5 раза перевищує сталь Г13. Завдяки цьому

збільшується ресурс роботи футеровки та зменшується частота проведення ремонтних робіт.

Одним із важливих факторів, що впливають на довговічність валків і якість готового продукту, є рівномірність подачі матеріалу до дробарки. Для забезпечення стабільного завантаження доцільно використовувати стрічковий конвеєр, оснащений електродвигуном потужністю 4 кВт. Така система подачі дозволяє рівномірно розподіляти матеріал по всій довжині валків та підтримувати постійну кількість сировини, що надходить у робочу зону. У результаті досягається більш рівномірний знос валків і колосникових решіток, зберігається стабільний зазор між робочими поверхнями, а також забезпечується отримання готового продукту однакової фракції протягом усього періоду роботи дробарки.

Важливу роль у забезпеченні надійної та довговічної роботи валкової дробарки відіграє система мащення. Основним призначенням мащення є зменшення втрат енергії на тертя, зниження інтенсивності зношування тертьових поверхонь, відведення тепла від навантажених вузлів, захист деталей від корозії та видалення продуктів зносу із зон тертя. Ефективне мащення сприяє підвищенню коефіцієнта корисної дії механізмів і забезпечує стабільну роботу обладнання впродовж тривалого часу [22].

Для забезпечення надійної та довговічної роботи валкової дробарки велике значення має ефективна система мащення вальниць робочих валків. У більшості конструкцій дробарок для цієї мети застосовується централізована система густого мащення, яка забезпечує безперервне та рівномірне надходження мастильного матеріалу до всіх вузлів тертя. Використання такої системи дозволяє підтримувати стабільний режим роботи вальниць навіть за умов значних ударних і вібраційних навантажень, характерних для процесу дроблення.

Основним призначенням централізованого мащення є зменшення сил тертя між поверхнями деталей, що контактують між собою під час роботи. Завдяки утворенню мастильної плівки значно знижується інтенсивність

механічного спрацювання підшипників, шийок валів та інших елементів опорних вузлів. Крім цього, мастильний матеріал сприяє ефективному відведенню тепла, яке виникає внаслідок тертя, запобігаючи перегріву деталей та втраті їх експлуатаційних властивостей.

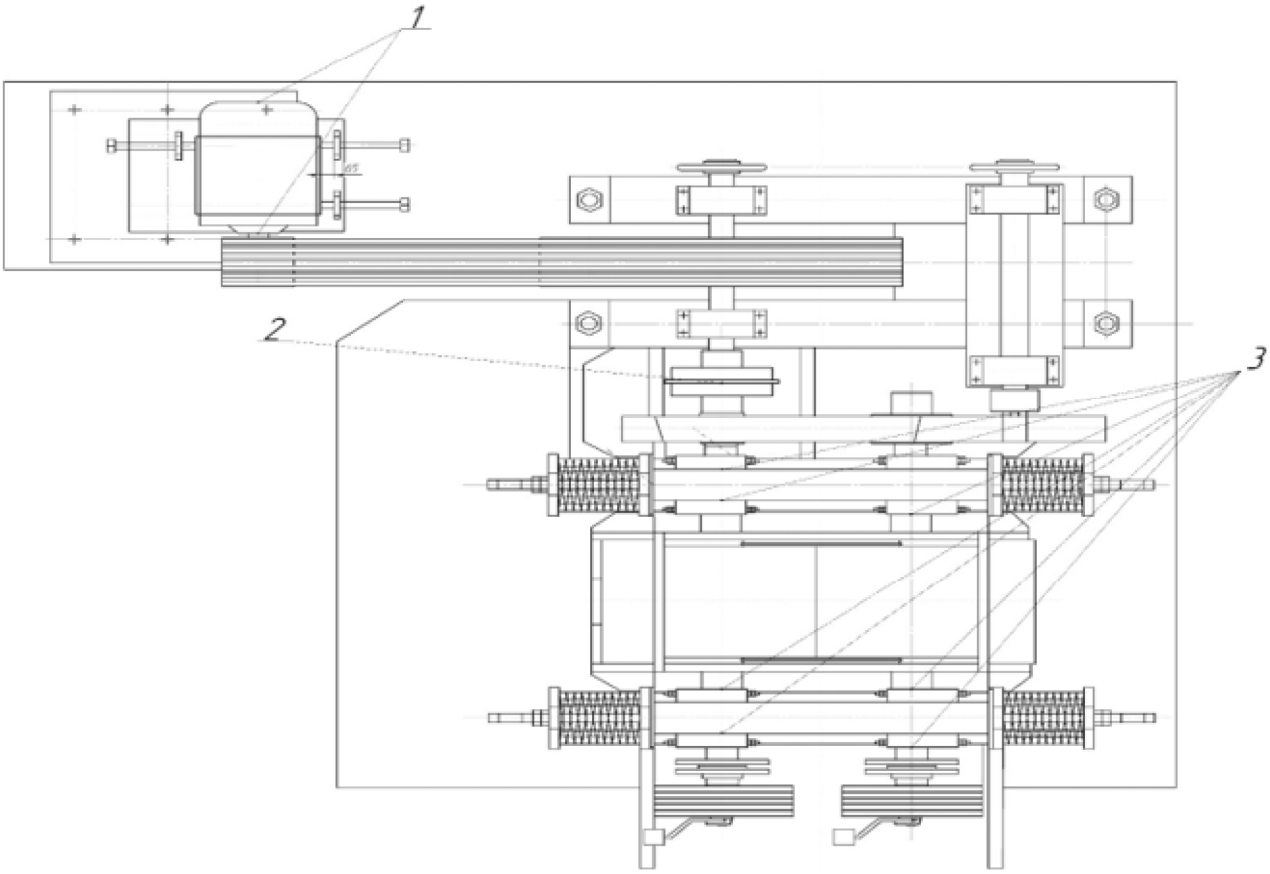
Централізована система густого мащення забезпечує автоматизовану подачу мастила у необхідній кількості до всіх відповідальних вузлів дробарки. Це дозволяє уникнути нерівномірного змащування, яке може виникати при ручному обслуговуванні, а також значно знижує ймовірність роботи механізмів в умовах «сухого тертя». Безперервне надходження мастильного матеріалу підвищує надійність роботи вальниць та сприяє збільшенню міжремонтного ресурсу обладнання.

Додатковою перевагою централізованої системи є спрощення технічного обслуговування дробарки. Контроль за подачею мастила здійснюється з одного вузла, що зменшує трудомісткість обслуговування та скорочує час проведення профілактичних робіт. Крім того, використання густих мастильних матеріалів дозволяє ефективно захищати поверхні деталей від корозії, проникнення пилу та продуктів зносу, що особливо важливо в умовах роботи дробарки з абразивними матеріалами.

Таким чином, застосування централізованої системи густого мащення є важливим фактором підвищення експлуатаційної надійності валкової дробарки, зменшення витрат на ремонт і технічне обслуговування, а також забезпечення стабільної та безпечної роботи обладнання протягом тривалого часу.

Мастила по магістралі подається до живильника 1-2, при заповненні магістралі і підйомі тиску до 100 атм відкривається магістраль подачі мастила на дробарку. На дробарці встановлено ще один живильник 1- 2 подачі мастила на першу і другу вальницю. При заповненні магістралі і камери однієї вальниці 3, висувається поршень живильника і відкриває подачу мастила на другу вальницю. При заповненні магістралі і мастильної порожнини другої вальниці, відбувається переміщення поршня в першому живильнику і подача мастила на дробарку припиняється і відкривається магістраль подачі мастила далі по ділянці. Карту

мащення основних вузлів чотирьохвалкової дробарки



Найменування точок	Кількість точок	Вид мастила	Система мащення	Витрата мастила, гр. за 8 годин	Режим мащення	Картер	
						Ємність, кг	Строк служби, діб
1. Вальниці двигуна	2	Жирова І-13	Закладна	12	Заміна 1 раз в 3 міс.	1,6 – 6,4	90
2. Зубчаста муфта	1	Уніол – 2М	Закладна	20	Доповнення 1 раз в 7 днів	4,4	90
3. Вальниці робочих валків	2	Уніол – 2М	Закладна	12	Доповнення раз в 7 днів	4,4	90

Рисунок 3.1 – Карта мащення основних вузлів чотирьохвалкової дробарки

Вальниці електродвигуна працюють при підвищеній температурі, що не дозволяє застосовувати тавот. Для вальниць електродвигуна доцільно застосовувати мащення жирове 1-13, яке має таку характеристику:

- в'язкість V- 2500 5000 ;
- температура крапле падіння t = -30 - 150 ° С;
- число пенетрації при 25 ° 340 – 390.

Для зубчастих муфт і вальниць валу ротора система мащення – закладна, змащувальний матеріал – Уніол-2М:

- температурна межа -30 + 150ºС
- число пенетрації 340 – 390 од.
- температура капле падіння 200ºС
- динамічна в’язкість 55 ПЗ (при 20ºС)

3.2 Розрахунки технологічного спрямування

3.2.1 Розрахунок зусилля напресування втулки зубчатої муфти на вал

Для визначення складання муфти на валу скористаємося наступними даними:

- з’єднання виконано по посадці $Ø140\frac{H7}{s4}$
- діаметр з’єднання d = 140 мм
- внутрішній діаметр вала d_1 = 0 мм
- зовнішній діаметр охоплюючої деталі D = 650 мм
- довжина дотичної поверхні l = 170 мм
- матеріал вала та втулки Сталь
- модуль пружності $E_{1,2}=2{,}12\cdot10^5$ МПа
- клас шорсткості:
  - отвір втулки 5
  - хвостовик вала 6

Параметри жорсткості:

- поверхні отвору втулки: R_{ZD} = 10 мкм;

R_{AD} = 2,5 мкм;

- поверхні хвостовика вала: R_{Zd} = 2,5 мкм;

R_{Ad} = 0,63 мкм;

Вузол виготовлено по системі отвору:

- посадка і квалітет отвору H7;

- посадка і квалітет хвостовика вала s7;

Границі відхилення розмірів.

- отвір: верхнє ES = 40 мкм

нижнє EI = 0 мкм

- вал: верхнє es = 132 мкм

нижнє ei = 92 мкм

Максимальний натяг в з'єднанні:

$$N_{MAX} = es - EI = 132 - 0 = 132 \text{ мкм}$$

Мінімальний натяг в з'єднанні:

$$N_{MIN} = ei - ES = 92 - 40 = 52 \text{ мкм}$$

Середній натяг в з'єднанні.

$$N_{CP} = \frac{N_{MAX} + N_{MIN}}{2} = \frac{132+52}{2} = 92\text{мкм} \qquad (3.1)$$

Поправка на зменшення виступів шорсткості з'єднувальних поверхонь.

$$\Gamma_м = 1{,}2(R_{ZD} + R_{Zd}) = 1{,}2(2{,}3 + 10) = 15{,}96 \text{ мкм}$$

$$\gamma_м = 5(R_{AD} + R_{Ad}) = 5(2{,}5 + 0{,}69) = 15{,}65 \text{ мкм}$$

Із отриманих значень для подальших розрахунків приймаємо більше значення.

$\Gamma_м = 15,96$ мкм

Розрахунковий натяг:

$N_р = N_{MAX} + \gamma_м = 132 + 15,96 = 147,96$ мкм

Допоміжні коефіцієнти:

$$C_1 = \frac{1+\left(\frac{d_1}{d}\right)^2}{1-\left(\frac{d_1}{d}\right)^2} - \mu = \frac{1+\left(\frac{0}{140}\right)^2}{1-\left(\frac{0}{140}\right)^2} - 0,3 = 0,7 \qquad (3.2)$$

$$C_2 = \frac{1+\left(\frac{d}{D}\right)^2}{1-\left(\frac{d}{D}\right)^2} - \mu = \frac{1+\left(\frac{140}{650}\right)^2}{1-\left(\frac{140}{650}\right)^2} - 0,3 = 1,4 \qquad (3.3)$$

Питомий тиск на дотичних поверхнях при напресуванні.

$$P = \frac{N_р}{d\left[\left(\frac{c_1}{2,12\cdot 10}\right)+\left(\frac{c_2}{2,12\cdot 10}\right)\right]} = \frac{147,96\cdot 10^3}{140\left[\left(\frac{0,7}{2,12\cdot 10}\right)+\left(\frac{1,4}{2,12\cdot 10}\right)\right]} = 105,7 МПа \qquad (3.4)$$

Зусилля для напресування втулки на хвостовик вала при коефіцієнті тертя f = 0,1 (за умови стабільного змащування).

$$F_Н = P \cdot f \cdot \pi \cdot d \cdot 1 = 0,1 \cdot 105,7 \cdot 140 \cdot 3,14 \cdot 170 = 631,9 \text{ кН}$$

Розрахунок температури нагріву втулки для монтажу на хвостовик вала.

$$T=\frac{(N_{MAX}+\gamma)}{a\cdot d}+t_0, \qquad (3.5)$$

де γ – мінімальний проміжок, необхідний для збирання вузла, приймаємо мінімальний проміжок для посадки g6.

α – коефіцієнт лінійного розширення, для сталі $\alpha = 11 \cdot 10^{-6}$.

t_0 – початкова температура втулки, приймаємо $t_0 = 20°C$

$$t=\frac{0,132+0,046}{11\cdot 10^{-6}\cdot 140}+20=125^{\circ}C \qquad (3.6)$$

Що є цілком припустимим для даного типу приєднувальних вузлів.

3.2.3 Розрахунок зусилля напресування вальниць на вал

Для визначення зусилля напресування вальниці на робочий валок скористаємося наступними даними:

– тип вальниці	3534
– з'єднання вальниці за посадкою	$ø170\frac{L7}{k6}$
– розміри вальниці:	
внутрішній діаметр вальниці	d = 170 мм
зовнішній діаметр вальниці	D = 310 мм
ширина внутрішнього кільця	B = 90 мм
ширина зовнішнього кільця	C = 220 мм
– діаметр вала	d_1 = 170 мм
– клас шорсткості вала	6
– модуль пружності	$E = 2,12\cdot 10^{-6}$ МПа
– коефіцієнт Пуассона	μ = 0,3

Відхилення розмірів шийки вала згідно обраної посадки:

отвору:

верхнє es = 28 мкм

нижнє ei = 3;

валу:

верхнє ES = 0 мкм

нижнє EI = -22 мкм

Максимальний натяг в з'єднанні:

$$N_{MAX} = es - EI = 28 - (-20) = 50 \text{ мкм} \quad (3.7)$$

Мінімальний натяг в з'єднанні.

$$N_{MIN} = ei - ES = 3 - 0 = 3 \text{ мкм} \quad (3.8)$$

Середній натяг в з'єднанні.

$$N_{CP} = \frac{N_{MAX} + N_{MIN}}{2} = \frac{50+3}{2} = 26{,}5 \text{мкм} \quad (3.9)$$

Зменшення натягу внаслідок зменшення висоти мікронерівностей R_{Zd} на посадочній поверхні вала при напресуванні вальниці:

При 7 класі $R_{Zd} = 10$ мкм

$\gamma = 2 \cdot 0{,}6 \cdot R_{Zd} = 12$ мкм

Ефективний посадочний натяг:

$$N_E = N_{CP} + \gamma = 26,5 + 21 = 38,5 \text{ мкм} \quad (3.10)$$

Питомий тиск за заданим ефективним натягом.

$$P = \frac{N_E}{d\left[\left(\frac{1}{E}\left(\frac{\left(\frac{d_1}{d}\right)^2+1}{\left(\frac{d_1}{d}\right)^2-1}+\mu\right)\right)+\left(\frac{1}{E}\left(\frac{\left(\frac{d_1}{d}\right)^2+1}{\left(\frac{d_1}{d}\right)^2-1}-\mu\right)\right)\right]} =$$

$$= \frac{0,03850}{170\left[\left(\frac{1}{2,12\cdot10^{-6}}\left(\frac{\left(\frac{170}{170}\right)^2+1}{\left(\frac{170}{170}\right)^2-1}\right)+0,3\right)+\left(\frac{1}{2,12\cdot10^{-6}}\left(\frac{\left(\frac{170}{170}\right)^2+1}{\left(\frac{170}{170}\right)^2-1}\right)-0,3\right)\right]} = 5,9 \text{МПа} \quad (3.11)$$

Зусилля, що необхідне для напресування вальниці.

$$F_H = P \cdot f \cdot \pi \cdot d \cdot B = 0,15 \cdot 5,9 \cdot 170 \cdot 3,14 \cdot 90 = 42,5 \text{ кН} \quad (3.12)$$

де f – коефіцієнт тертя, f = 0,08…0,5

Приймаємо розрахункове зусилля, за еталонне для використання його на виробництві при складанні виконавчих вузлів дробарки

3.2.4. Розрахунок температури нагріву вальниці

Для зменшення зусилля напресування вальницю необхідно нагріти в масляній ванні.

$$t = \frac{N_{MAX}+\gamma}{a \cdot d} + t_0, \quad (3.13)$$

де γ – проміжок, необхідний для зібрання з'єднання, приймаємо рівним проміжок за посадкою g6, $\gamma = 0{,}012$ мм;

α – коефіцієнт лінійного розширення, для сталі $\alpha = 11 \cdot 10^{-6}$;

t_0 – початкова температура.

Приймаємо $t_0 = 20°C$

$$T = \frac{0{,}050+0{,}039}{11 \cdot 10^{-6} \cdot 170} + 20 = 75^{\circ}C \qquad (3.14)$$

Що значно менше допустимих 100 ºС для даного типу вальниць кочення.

3.2.5. Розрахунок і вибір канату для виготовлення стропа

Монтажні стропи призначені для захоплення, піднімання, утримання та переміщення різноманітних вантажів під час виконання монтажних, ремонтних і вантажно-розвантажувальних робіт. Їх застосовують при встановленні технологічного обладнання, металоконструкцій, трубопроводів, будівельних елементів та інших важких деталей. Стропи забезпечують надійне з'єднання вантажу з вантажопідіймальним механізмом, таким як кран, таль або лебідка, а також сприяють безпечному транспортуванню вантажів без їх пошкодження [23].

Монтажні стропи виготовляють із матеріалів, які мають високу міцність, зносостійкість та здатність витримувати значні навантаження. Найпоширенішими є такі види стропів [24]:

- канатні стропи – виготовляються зі сталевих дротяних канатів; характеризуються високою міцністю, довговічністю та стійкістю до механічних пошкоджень;
- ланцюгові стропи – виробляються із високоміцних сталевих ланцюгів; застосовуються при роботі з гарячими, гострокромковими або важкими вантажами;

- текстильні стропи – виготовляються із синтетичних матеріалів, таких як поліестер, поліамід або поліпропілен; мають малу власну масу, гнучкість та не пошкоджують поверхню вантажу;
- комбіновані стропи – поєднують елементи різних матеріалів для отримання необхідних експлуатаційних властивостей.

Для підвищення надійності стропи оснащують гаками, скобами, кільцями, коушами та іншими з'єднувальними елементами. Під час експлуатації стропи повинні регулярно проходити технічний огляд і перевірку на відсутність пошкоджень, зносу чи деформацій.

Виконаємо розрахунок та вибір канатного сталевого стропу для монтажу робочого валка під час капітального ремонту чотирьохвалкової дробарки за наступними даними:

- вага вантажу (валка) $G_B = 68{,}3$ кН
- кут нахилу гілок $\alpha = 30°$
- кількість гілок стропу $z = 4$
- коефіцієнт запасу міцності $n = 8$

Максимальне зусилля в одній гілці канату:

$$F_{MAX} = \frac{G_B}{z \cdot \cos\alpha} = \frac{68{,}3}{4 \cdot \cos 30°} = 25{,}5\text{кН} \qquad (3.15)$$

Розривне зусилля в гілці канату:

$$F_{РОЗ} = F_{MAX} \cdot n = 8 \cdot 25{,}5 = 204\ \text{кН} \qquad (3.16)$$

Для виготовлення стропа обираємо канат, що має наступну характеристику:

Тип	ЛК – Р6 × 19 + 1о.с.
Розривне зусилля	$F_{РОЗ} = 209$ кН
Діаметр канату	$d_K = 19{,}5$ мм
Маркувальна група	$\sigma_B = 1568$ МПа

Орієнтована довжина каната $l = 4$ м

З обраного канату виготовляємо строп, що має наступну характеристику:

Тип СКП – 2,5

Довжина гілки $l_B = 1000$ мм

Довжина стропа $l_C = 4000$ мм

Вантажопід'ємність $Q = 2,5$ т

3.3 Підготовка до капітального ремонту чотирьохвалкової дробарки

Для забезпечення належного рівня якості ремонтних робіт при одночасному скороченні тривалості простою технологічного обладнання ще до початку капітального ремонту проводиться комплексна підготовка. Вона охоплює систему взаємопов'язаних організаційних, технічних і матеріально-технічних заходів, від повноти та своєчасності виконання яких безпосередньо залежить ефективність проведення ремонту, його тривалість, а також подальша надійність роботи обладнання [25].

На підготовчому етапі ремонтна служба цеху здійснює роботи за кількома основними напрямками:

– дефектно-кошторисним;

– конструкторським;

– матеріально-технічним;

– організаційним.

Відомість дефектів є основним технічним документом, на підставі якого визначаються обсяг і характер майбутніх ремонтних робіт, а також потреба у механізмах, металоконструкціях, запасних частинах, підіймально-транспортних засобах та допоміжному обладнанні. У цьому документі наводиться перелік деталей, вузлів і елементів обладнання із зазначенням виявлених дефектів та необхідних ремонтно-відновлювальних операцій.

Складання відомості дефектів здійснюється заступником начальника цеху з обладнання, механіком цеху за участю ремонтного та експлуатаційного персоналу,

який виконує технічне обслуговування обладнання, профілактичні огляди та контролює його технічний стан у процесі експлуатації.

Документ оформлюється завчасно – не пізніше ніж за шість місяців до початку проведення капітального ремонту. У випадках, коли виготовлення окремих вузлів, деталей або металоконструкцій необхідно замовляти на сторонніх підприємствах, відомість дефектів складають за 12÷18 місяців до початку ремонту. Такий термін необхідний для своєчасного виготовлення, постачання та комплектації необхідних запасних частин і конструкцій.

Відомість дефектів оформлюється у п’яти примірниках, які передаються:

– до виробничого цеху;

– в управління головного механіка підприємства;

– до кошторисного відділу;

– у плановий відділ;

– виконавцю ремонтних робіт.

На підставі затвердженої відомості дефектів конструкторське бюро або проєктний відділ здійснює підбір і комплектування комплекту креслень деталей та вузлів, зазначених у документі. Після перевірки технічної документації, за необхідності, виконуються коригування робочих і ремонтних креслень. Крім того, розробляються ескізи запасних частин, які виготовляються за попередніми розмірами з урахуванням подальшої механічної обробки. Для деталей, що підлягають відновленню, створюються додаткові ремонтні креслення та технологічні рекомендації. У разі необхідності під час підготовки капітального ремонту також можуть розроблятися технічні проєкти реконструкції або модернізації обладнання.

Після погодження та затвердження відомості дефектів кошторисний відділ виконує розрахунок вартості ремонтних робіт. Розрахунки здійснюються відповідно до чинних прейскурантів цін на матеріали, металоконструкції та допоміжне обладнання, а також з урахуванням фактичної собівартості запасних деталей і вузлів, що виготовляються ремонтно-механічними цехами підприємства. На основі цих даних складається кошторис на проведення капітального ремонту. Після цього

кошторисно-фінансові розрахунки узгоджуються між замовником і виконавцем ремонтних робіт та затверджуються технічним директором підприємства.

Затверджена відомість дефектів, технічний проєкт і комплект робочих креслень передаються ремонтній організації, яка безпосередньо виконуватиме ремонт. На основі цієї документації розробляється проєкт організації робіт (ПОР), а також складаються оперативні графіки виконання ремонту – календарно-операційні або мережеві графіки, що визначають послідовність і терміни виконання всіх ремонтних операцій [26, 27].

Уся технічна та ремонтна документація, необхідна для проведення капітального ремонту чотирьохвалкової дробарки, передається підприємством-замовником виконавцю ремонтних робіт. На основі отриманих матеріалів виконавець розробляє проєкт організації робіт (ПОР), у якому визначаються порядок та умови виконання капітального ремонту.

Проєкт організації робіт розробляється з метою вирішення комплексу технічних, виробничих, господарських і організаційних питань, пов'язаних із проведенням капітального ремонту обладнання. Основним призначенням ПОР є забезпечення раціональної організації ремонтного процесу, скорочення тривалості ремонту, підвищення продуктивності праці ремонтного персоналу та створення безпечних умов праці.

До складу проєкту організації робіт входять такі матеріали:

– дефектна відомість на проведення капітального ремонту чотирьохвалкової дробарки;
– календарний графік виконання ремонтних робіт;
– план ремонтного майданчика, на якому передбачено проведення ремонту;
– опис найбільш раціональних технологічних способів виконання ремонтних операцій із застосуванням сучасних механізмів та засобів механізації слюсарно-складальних робіт;
– перелік виробів, вузлів, заготовок, деталей і матеріалів, виготовлення яких необхідно здійснити на сторонніх підприємствах;
– відомість необхідних механізмів, такелажних засобів, спеціальних пристроїв,

інструменту та транспортних засобів;

– заходи та рекомендації щодо безпечного виконання ремонтних робіт.

Для розроблення проєкту організації робіт необхідно підготувати такі вихідні дані:

– план ремонтного майданчика із нанесенням схем енергопостачання, водопостачання, повітропостачання, паропроводів, залізничних колій та автомобільних під'їзних шляхів;

– установчі креслення чотирьохвалкової дробарки;

– креслення та схеми фундаменту з геодезичним обґрунтуванням у разі необхідності демонтажу обладнання з фундаменту;

– технічні умови на збирання, монтаж і регулювання механізмів, машин та агрегатів.

Проєкт організації робіт на проведення капітального ремонту чотирьохвалкової дробарки розробляється з метою забезпечення найбільш раціональної організації ремонтного процесу та встановлення оптимальної послідовності виконання всіх ремонтних операцій.

ПОР визначає:

– послідовність виконання ремонтних робіт, передбачених дефектною відомістю;

– перелік ремонтних операцій, які можуть виконуватись як послідовно, так і паралельно;

– тривалість виконання окремих операцій і всього ремонту в цілому;

– необхідну чисельність ремонтного персоналу для виконання кожного виду робіт;

– потребу у засобах механізації та передбачає використання переносних і стаціонарних механізмів для забезпечення ремонтного процесу;

– організацію та графік вантажопотоків під час проведення ремонту;

– заходи з охорони праці та забезпечення безпечних умов виконання робіт;

– загальну тривалість капітального ремонту відповідно до складеного оперативного графіка.

Оперативний графік проведення капітального ремонту повинен повною мірою визначати послідовність, тривалість і строки виконання всіх ремонтних операцій, а також регламентувати своєчасне постачання конструкцій, матеріалів, деталей, вузлів, механізмів та іншого обладнання, необхідного для забезпечення безперервного ремонтного процесу. Наявність чітко розробленого графіка дає можливість узгодити дії всіх служб і виконавців, що беруть участь у ремонті чотирьохвалкової дробарки.

Оперативний графік містить перелік ремонтних робіт, відомості про їх трудомісткість і вартість, а також розподіл окремих операцій у часі. Це забезпечує виконання ремонту у встановлені терміни з дотриманням технологічної послідовності та раціональним використанням трудових і матеріально-технічних ресурсів.

Завдяки оперативному графіку стає можливим правильно визначити потребу в робочій силі з урахуванням спеціальності, кваліфікації та часу прибуття працівників на ремонтний майданчик. Такий підхід дозволяє уникнути прихованих простоїв, неузгодженості між окремими етапами ремонту та зниження продуктивності праці ремонтного персоналу.

Для обґрунтованого визначення чисельності ремонтних працівників необхідно користуватися прогресивними нормами трудових витрат, які встановлюються окремо для кожного виду ремонтних робіт. Це дає змогу забезпечити ефективне використання трудових ресурсів, оптимізувати завантаження персоналу та скоротити загальну тривалість ремонту.

Капітальний ремонт передбачає не лише відновлення працездатності обладнання та заміну зношених елементів, а й виконання комплексу робіт, пов’язаних із модернізацією агрегатів, удосконаленням конструкцій та впровадженням нових технічних рішень. Проведення таких заходів сприяє підвищенню надійності, продуктивності та довговічності обладнання.

Виконання капітального ремонту характеризується значною трудомісткістю та потребує застосування спеціалізованого обладнання, механізмів і інструменту. Для забезпечення ремонтного процесу використовуються вантажопідіймальні та

транспортні засоби, обладнання для різання та зварювання металу, а також різноманітний слюсарний, монтажний і вимірювальний інструмент (таблиця 3.1). Наявність необхідних технічних засобів і своєчасне їх залучення є важливою умовою якісного та безпечного виконання ремонтних робіт.

Таблиця 3.1 – Відомість вантажопідйомного обладнання, пристроїв та інструменту

№ п/п	Найменування	Одиниця вимірювання	Кількість	Призначення, типи, технічна характеристика	Примітка
I.	Вантажопідйомні пристрої				
1	Лебідка електрична	шт	1	Q = 15 т	
II.	Такелажні пристрої				
1	Строп універсальний	шт	2	СКП-0,5Q = 1,5 т	l = 2 м
2	Строп універсальний	шт	1	СКП-0,8Q = 2,5 т	l = 3 м
III.	Обладнання для зварювання і різання металу				
1	Трансформатор зварювальний	шт	1	СТН-350	
2	Газовий різак	шт	1	К-51	
3	Різак ацетиленовий	шт	1	РР-53	
IV.	Слюсарний інструмент				
1	Кувалда	шт	2	G = 8 кг	
2	Молоток слюсарний	шт	4	G = 0,6 кг	
3	Ключі гайкові (комплект)	шт	3	S-1250 мм	
4	Зубило слюсарне	шт	4	G = 0,3 кг	
5	Лом	шт	2	G = 0,3 кг	
V.	Вимірювальний інструмент				
1	Штангенциркуль	шт	4	О – 270 мм	
2	Мікрометр	шт	1	О – 25 мм	
3	Лінійка вимірювальна	шт	2	l = 400 мм	
4	Рулетка	шт	2	l = 3000 мм	
VI.	Пристрої				
1	Знімач	шт	2	Для демонтажу вальниць	
2	Скоба центрувальна	шт	2	Для центрування муфт і валів	

3.4 Організація роботи механослужби цеху та планування ремонтів чотирьохвалкової дробарки

Одним із ключових чинників забезпечення безаварійної та стабільної роботи технологічного обладнання є раціональна організація його технічного обслуговування та ремонту. Особливо важливе значення при цьому має ефективна організація праці ремонтного і чергового персоналу, який здійснює обслуговування обладнання агломераційного цеху. До складу механічної служби цеху входять чергові та ремонтні працівники, діяльність яких спрямована на підтримання обладнання у справному технічному стані.

Основним завданням механослужби є забезпечення раціональної та безпечної експлуатації технологічного обладнання. Надійність і довговічність роботи агрегатів значною мірою залежать від чіткої організації роботи чергового та ремонтного персоналу, який здійснює контроль технічного стану машин, механізмів і допоміжного обладнання цеху [28].

Черговий персонал, до складу якого входять чергові слюсарі, закріплюється за певними видами обладнання та працює у змінному режимі. Саме на них покладається основний обсяг робіт, пов’язаних із щоденним технічним обслуговуванням агрегатів, контролем їх технічного стану та оперативним усуненням несправностей.

Ремонтний персонал, як правило, працює в одну зміну. До його основних функцій належать підготовка вузлів, деталей і механізмів до проведення ремонтних робіт, виготовлення або відновлення окремих елементів обладнання, а також безпосереднє виконання поточних і капітальних ремонтів [29].

До функцій чергового персоналу належать:

– контроль справності трубопроводів і запірної арматури;

– перевірка роботи систем густого та рідкого змащування;

– виявлення витоків мастильних матеріалів із картерів та гідросистем;

– контроль технічного стану підшипникових вузлів, зубчастих передач, систем гідравліки та пневматики;

– перевірка надійності кріплення деталей і вузлів машин;

– виконання аварійних та невідкладних ремонтних робіт.

Важливою складовою роботи чергового та ремонтного персоналу є організація приймання і передачі зміни. Працівник, який здає зміну, зобов'язаний ознайомити наступного працівника з технічним станом обладнання, режимом його роботи, виявленими несправностями, а також зі змінами, внесеними у процесі експлуатації механізмів. Працівник, який приймає зміну, повинен ознайомитися із записами в оперативному журналі, зробленими після його попереднього чергування, прийняти обладнання, матеріали, інструмент, засоби індивідуального захисту та ключі від виробничих приміщень. Після цього він зобов'язаний доповісти про заступання на чергування та повідомити про всі виявлені недоліки чи несправності.

Приймання та передача зміни обов'язково оформлюються записом в оперативному журналі. Особи, відповідальні за технічний стан механічного обладнання, повинні щоденно перевіряти записи в журналі приймання та передачі змін і своєчасно вживати необхідних заходів для усунення виявлених несправностей та запобігання аварійним ситуаціям.

Черговий (обслуговуючий та ремонтний) персонал механічної служби працює за безперервним тризмінним чотирибригадним графіком роботи. Такий режим організації праці забезпечує безперервне функціонування технологічного обладнання та постійний контроль його технічного стану. Відповідно до графіка кожна бригада після чотирьох днів роботи в одній зміні отримує 48 годин відпочинку.

Черговість переходу між змінами є прямою, тобто бригади послідовно переходять:

– з першої зміни у другу;

– з другої – у третю;

– з третьої – знову у першу.

Режим роботи змін встановлюється таким чином:

– І зміна – з 23:00 до 07:00;

– II зміна – з 07:00 до 15:00;

– III зміна – з 15:00 до 23:00.

Вихідні дні працівникам надаються відповідно до затвердженого графіка змінності, а не у загальноприйняті календарні вихідні. Робота у святкові, передсвяткові та вихідні дні здійснюється у звичайному режимі відповідно до виробничої необхідності та безперервності технологічного процесу.

Основною перевагою тризмінного чотирибригадного графіка є ритмічність і безперервність роботи, що дозволяє забезпечити постійне технічне обслуговування обладнання та своєчасне усунення несправностей. Крім того, такий режим роботи сприяє рівномірному розподілу навантаження між працівниками.

Разом із тим даний графік має певні недоліки. Зокрема, у змінному режимі роботи відсутня регламентована перерва для відпочинку та приймання їжі, тому харчування працівників здійснюється безпосередньо під час виконання виробничих обов'язків. Також у нічній зміні передбачене скорочення тривалості робочого часу на одну годину.

Ремонтний персонал під час виконання планових поточних ремонтів зазвичай працює за однозмінним однобригадним або двозмінним двобригадним графіком роботи. У період проведення капітальних ремонтів, з метою скорочення тривалості простою обладнання та прискорення виконання ремонтних робіт, ремонтники переводяться на тризмінний чотирибригадний режим роботи.

Тривалість однієї робочої зміни становить 8 годин. Обідня перерва триває 30 хвилин і не входить до загальної тривалості робочого часу. У разі виробничої необхідності, зокрема під час проведення ремонтів або ліквідації аварійних ситуацій, ремонтний персонал може залучатися до понаднормових робіт.

До переваг роботи ремонтного персоналу можна віднести виконання основного обсягу робіт у денний час, а також наявність регламентованої перерви для відпочинку та приймання їжі, що позитивно впливає на умови праці та працездатність працівників.

Майстер є безпосереднім керівником трудового колективу виробничої дільниці, організатором виробничого процесу та праці, а також відповідальною особою за забезпечення належної трудової дисципліни й ефективної роботи персоналу. У своїй діяльності майстер керується чинним трудовим законодавством, виробничими планами, правилами внутрішнього трудового розпорядку, посадовими інструкціями та розпорядженнями керівництва підприємства.

У виробничій структурі підприємства майстер безпосередньо підпорядковується старшому майстру або начальнику цеху (дільниці). Призначення на посаду, переведення чи звільнення майстра здійснюється наказом директора підприємства за поданням начальника цеху. Розпорядження та вказівки майстра є обов'язковими для виконання всіма працівниками, які перебувають у його підпорядкуванні.

Основним завданням майстра є забезпечення виконання виробничою дільницею планових завдань у встановлені строки з дотриманням необхідних показників якості продукції. Важливими напрямами його діяльності є підвищення продуктивності праці, зниження виробничих витрат, забезпечення суворого дотримання технологічних режимів та інструкцій, а також організація безпечних умов праці.

Майстер зобов'язаний створювати необхідні організаційні та технічні умови для виконання працівниками встановлених виробничих норм, сприяти впровадженню сучасних методів і прийомів праці, забезпечувати раціональне використання робочого часу та виховувати у працівників відповідальне ставлення до виконання виробничих завдань.

До основних обов'язків майстра також належать:

– покращення санітарно-побутових умов праці працівників;

– організація підвищення професійної кваліфікації та культурно-технічного рівня персоналу;

– раціональний розподіл працівників по робочих місцях і чітке визначення їхніх обов'язків;

– контроль технічного стану обладнання та забезпечення своєчасного проведення технічного обслуговування і ремонтів;

– складання відомостей дефектів для проведення ремонтних робіт;

– організація та підготовка обладнання до ремонту.

Для підвищення ефективності роботи механічної служби цеху необхідно впроваджувати комплекс організаційно-технічних заходів, основними з яких є:

– підвищення якості міжремонтного технічного обслуговування обладнання, посилення відповідальності ремонтного та експлуатаційного персоналу, а також впровадження заходів із модернізації та вдосконалення обладнання;

– раціональна централізація поточних і капітальних ремонтів з метою оптимального розподілу обсягів робіт між ремонтними службами підприємства;

– удосконалення системи планування ремонтів та підвищення ефективності використання ремонтних ресурсів;

– впровадження гарантійних ремонтів на основі господарських взаємовідносин між замовником і виконавцем ремонтних робіт;

– широке застосування вузлового та агрегатного методів ремонту, що дозволяє скоротити тривалість простою обладнання;

– удосконалення технологій ремонту та використання сучасних методів відновлення зношених деталей і вузлів;

– покращення системи обліку та зниження трудових і матеріальних витрат на виконання ремонтних робіт виробничого обладнання.

Організація ремонтів механічного обладнання є одним із найважливіших і найбільш актуальних завдань сучасного промислового виробництва. Від рівня організації технічного обслуговування та ремонтних робіт значною мірою залежать безперебійність функціонування обладнання цеху, обсяги виробництва продукції, її якість та собівартість. Раціонально організована система ремонтів дозволяє забезпечити надійну та довговічну роботу машин і механізмів, зменшити аварійні простої та підвищити ефективність виробничого процесу.

Для забезпечення належної експлуатації механічного обладнання на підприємствах впроваджується система технічного обслуговування та ремонту (ТОіР). Сутність цієї системи полягає у чіткому чергуванні та регламентуванні періодів роботи обладнання, проведенні планового технічного обслуговування, профілактичних оглядів і ремонтів відповідно до встановлених нормативів та режимів експлуатації.

З метою встановлення єдиного порядку організації та проведення поточних і капітальних ремонтів на підприємстві розробляється відповідний стандарт підприємства. Зокрема, стандарт СТП 6.3-02-03 «Проведення поточних і капітальних ремонтів обладнання» регламентує періодичність, тривалість та порядок виконання ремонтів технологічного обладнання ПАТ «Запоріжсталь». Використання цього стандарту забезпечує уніфікацію ремонтних робіт, підвищення їх якості та ефективності.

Основним видом ремонту, спрямованим на підтримання працездатності обладнання та усунення виявлених несправностей, є поточний ремонт. Проведення поточних ремонтів забезпечує безпечну, стабільну та високопродуктивну роботу обладнання протягом міжремонтного періоду. Залежно від обсягу та складності виконуваних робіт поточні ремонти поділяються на:

– перший поточний ремонт (Т1);

– другий поточний ремонт (Т2).

Капітальні ремонти механічного обладнання, як правило, виконуються спеціалізованими підрядними організаціями. Витрати на проведення поточних ремонтів включаються до експлуатаційних витрат підприємства, тоді як фінансування капітальних ремонтів здійснюється за рахунок амортизаційних відрахувань. Поточні ремонти проводяться силами чергових бригад слюсарів-ремонтників цеху із залученням, за необхідності, підрядних організацій.

На відміну від поточного ремонту, капітальний ремонт передбачає повне відновлення або заміну зношених вузлів, механізмів і деталей обладнання. Після завершення капітального ремонту технічні характеристики агрегату повинні

відповідати встановленим нормативним показникам і технічним вимогам для даного виду обладнання.

До складу робіт, які виконуються під час капітального ремонту, входять також заходи з модернізації обладнання та впровадження нових технічних рішень. Такі роботи здійснюються відповідно до попередньо розроблених і затверджених технічних проєктів.

Модернізація обладнання являє собою комплекс організаційно-технічних заходів, спрямованих на підвищення працездатності, надійності та довговічності деталей і вузлів при мінімальних матеріальних і трудових витратах. У результаті модернізації підвищується продуктивність обладнання, збільшується тривалість міжремонтного періоду, скорочуються простої та зменшується трудомісткість виконання ремонтних робіт.

Планування ремонтів полягає у розробленні перспективних і поточних графіків ремонту всіх виробничих об'єктів металургійного підприємства, а також у плануванні роботи цехів, які виготовляють запасні частини, вузли та допоміжне обладнання, необхідне для проведення ремонтів у майбутньому періоді.

Періодичність зупинок обладнання для проведення поточних і капітальних ремонтів визначається відповідно до ресурсу роботи деталей, технічного стану вузлів і механізмів агрегату. Тривалість ремонтних зупинок встановлюється залежно від часу, необхідного для виконання найбільш складних і трудомістких ремонтних операцій.

Періодичність та тривалість ремонту обладнання валкової зубчастої дробарки за даними підприємства:

поточний ремонт: T_1 – 30 днів/8 годин

поточний ремонт: T_2 – 90 днів/16 годин

капітальний ремонт: 1 раз в 3 роки /48 годин.

Визначаємо кількість ремонтів протягом року:

$$n = 12 : 1 = 12T_1 ; \qquad (3.17)$$

Визначаємо загальну кількість ремонтів T_2:

$$T_2 = 12 / 3 = 4T_2; \quad (3.18)$$

Визначаємо кількість T_1 в першому році:

$$T_1 = 12 – Кр – 3T_2 = 8; \quad (3.19)$$

Визначаємо кількість T_1 в другому та третьому роках:

$$T_1 = 12 – 4T_2 = 8; \quad (3.20)$$

Будуємо структуру ремонтного циклу (рисунок 3.2).

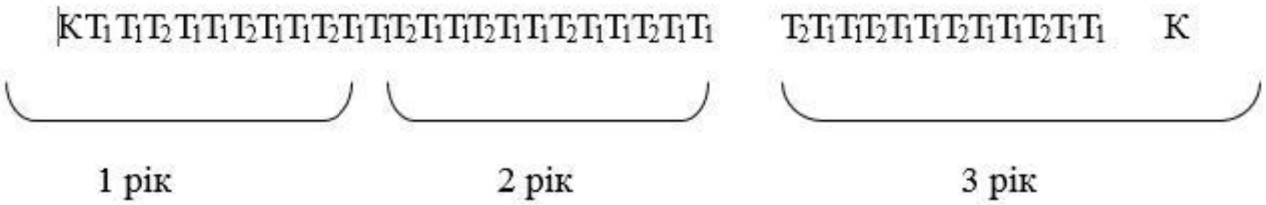


Рисунок 3.2 – Структура ремонтного циклу в контексті обслуговування чотирьохвалкової дробарки

Річний графік планових ремонтів розробляється відділом головного механіка підприємства з метою забезпечення своєчасного та раціонального проведення технічного обслуговування і ремонтів виробничого обладнання. Даний графік є основним документом, який регламентує строки, послідовність та обсяги виконання ремонтних робіт протягом календарного року.

Під час складання річного графіка враховуються заявки виробничих цехів на проведення поточних і капітальних ремонтів, а також нормативні вимоги

щодо періодичності та тривалості ремонтів, визначені положенням системи технічного обслуговування та ремонту (ТОіР). На основі цих даних визначаються строки зупинки обладнання, обсяги ремонтних робіт, потреба у трудових ресурсах, матеріалах, запасних частинах та ремонтному обладнанні.

Річний графік ремонтів дозволяє забезпечити узгоджену роботу виробничих і ремонтних служб підприємства, своєчасну підготовку до проведення ремонтів, а також раціональне використання трудових і матеріально-технічних ресурсів. Крім того, планування ремонтів сприяє скороченню аварійних простоїв обладнання, підвищенню надійності його роботи та збільшенню ефективності виробничого процесу.

Згідно структури ремонтного циклу будуємо річний графік планових ремонтів (таблиця 3.2)

Таблиця 3.2 – Річний графік планових ремонтів механічного обладнання на 2026 р

№ п.п.	Найменування обладнання	Дата останнього капітального ремонту	I квартал			II квартал			III квартал			IV квартал			Термін простою обладнання, год.	Виконавець	Кількість ремонтів
			Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень			
1	4-х валкової дробарки	Вересень 2019	Т1. 8	Т1. 8	Т2. 16	Т1. 8	Т1. 8	Т2. 16	Т1. 8	Т1. 8	К. 48	Т1. 8	Т1. 8	Т2. 16	160	ЦРМО	12

Після затвердження річного графіка планових ремонтів один його примірник передається до виробничих цехів підприємства, а також по одному примірнику направляється кожній спеціалізованій організації, яка бере участь у виконанні ремонтних робіт. Ще один примірник залишається у відділі головного механіка для ведення обліку, контролю та координації виконання запланованих ремонтів.

Річний графік підписується головним механіком підприємства, керівником ремонтної організації та головним енергетиком, після чого затверджується керівництвом підприємства. Затверджений графік повинен бути своєчасно доведений до відома керівників виробничих цехів — не пізніше ніж за один місяць до початку проведення запланованих ремонтних робіт. Це дозволяє цехам завчасно підготувати обладнання до ремонту, організувати виробничий процес та забезпечити необхідні матеріально-технічні ресурси.

На основі річного графіка формується місячний графік планових ремонтів, який є більш деталізованим документом оперативного планування. Місячний графік розробляється виробничими цехами спільно з відділом головного механіка на підставі затвердженого річного плану поточних і капітальних ремонтів обладнання підприємства.

У місячному графіку уточнюються строки проведення ремонтів, тривалість зупинок обладнання, послідовність виконання окремих ремонтних операцій, а також визначаються виконавці робіт, потреба у ремонтному персоналі, матеріалах, запасних частинах і механізмах. Такий підхід забезпечує більш ефективну організацію ремонтного процесу, узгодженість дій між усіма службами підприємства та своєчасне виконання запланованих ремонтних заходів (таблиця 3.3).

Таблиця 3.3 – Місячний графік планових ремонтів механообладнання на вересень 2026 р.

Найменування обладнання	Числа місяця																												Простої обладнання	Виконавець
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		
4-х валкової дробарки																		К/24	К/24												48год.	ЦРМО

Під час складання місячних графіків ремонтів уточнюються конкретні строки початку ремонтних робіт у межах запланованого місяця, а також їх тривалість з урахуванням виробничої ситуації та технічного стану обладнання. Це дозволяє більш точно узгодити ремонтні заходи з виробничими процесами та забезпечити мінімізацію простоїв обладнання.

Затверджений місячний графік планових ремонтів повинен бути доведений до виробничих цехів не пізніше ніж за 10 днів до початку виконання запланованих ремонтних робіт. Такий термін необхідний для своєчасної організації підготовчих заходів, включаючи виведення обладнання з експлуатації, підготовку персоналу, інструменту та необхідних матеріально-технічних ресурсів.

У місячних графіках обов'язково передбачаються календарні дати планових зупинок обладнання для проведення ремонтів, а також тривалість кожної ремонтної зупинки. Крім того, у графіках передбачаються відмітки про фактичне виконання ремонтних робіт, що дозволяє здійснювати контроль дотримання встановлених строків, аналізувати ефективність ремонтної діяльності та своєчасно виявляти відхилення від плану.

3.5 Розрахунок чисельності робітників на капітальний ремонт механообладнання чотирьохвалкової дробарки

Приймаємо графік роботи ремонтних робітників безперервний трьох змінний чотирьох бригадний. Для розрахунку штату ремонтних робітників необхідно визначити загальну трудомісткість капітального ремонту.

За даними підприємства нормативна трудомісткість капітального ремонту чотирьохвалкової дробарки складає 875 л/ годин. Всі розрахунки ведемо за відомими методиками наведеними [30, 31]

Визначаємо штат змінний:

$$Ш_{зм} = T_{тр.заг} / n = 875 / 48 = 18 \text{ осіб}, \quad (3.21)$$

де $Т_{тр.заг}$ – загальна трудомісткість капітального ремонту люд/годин;

n – тривалість ремонту, год.

Визначаємо штат добовий:

$$Ш_{доб.} = Ш_{зм.} \cdot \ c \ = 18 \cdot 3 = 54 \text{ осіб} \quad (3.21)$$

де с – кількість змін, с = 3;

Визначаємо штат підмінний:

$$Ш_{підм} = Ш_{зм} = 18 \text{ осіб} \quad (3.22)$$

Визначаємо штат розстановчий:

$$Ш_{розст.} = Ш_{доб.} + Ш_{підм.} \quad (3.23)$$

$$Ш_{розст.} = 54+18=72\text{осіб} \quad (3.24)$$

Визначаємо штат резервний:

$$Ш_{резерв.} = Ш_{розт} \cdot \ 17\ \% \ /100\% \quad (3.25)$$

$$Ш_{рез.} = 72 \cdot 17\% \ / 100 = 12 \text{ осіб} \quad (3.26)$$

Визначаємо штат списковий:

$$Ш_{спис.} = Ш_{розт.} + Ш_{рез.} \quad (3.27)$$

$$Ш_{спис.} = 72 +12 = 84 \text{ особи} \quad (3.28)$$

Для визначення відсотку резерву складається баланс робочого часу 1 робітника в рік (табл.3.4)

Таблиця 3.4 – Баланс робочого часу 1 робітника в рік

Найменування показників	Для ремонтних робітників	
	Дні	Примітки
Календарний час	365	365 – 91,25
Вихідні дні	91,25	
Номінальний час	273,75	
Використаний час, в тому числі:		(24 + 14 + 4) · 3/4
відпустка	31,5	
хвороби	5	
держ. обов'язки	1	
за навчанням	1	
Інші невиходи по поважним причинам	2	
Всього:	40,5	31,5 + 5 + 1 + 1 + 2
Фактичний час роботи	233,25	273,75 – 40,5
Коефіцієнт списочності	1,17	273,75 / 233,25
% резерву	17	(1,17 · 100) - 100

На основі виконаних розрахунків, складаємо штатний розклад робітників, необхідних для виконання капітального ремонту чотирьох валкової дробарки (таблиця 3.5).

Таблиця 3.5 – Штатний розклад робітників, необхідних для виконання капітального ремонту чотирьох валкової дробарки

Найменування професії	Розряд	Грейд	Трив.додаткової відпуст.	Система оплати праці	% премії	Тривалість зміни	Графік роботи	Штат в зміну	Штат розстановчий	% резерву	Штат резервний	Штат списковий	Місячний оклад, грн.	Бал шкідливості
Ремонтні робітники	6	9	2	п/п	30	8	Безперервний 3-х змінний 4-х	6	24	17	4	28	10000	35
	5	10	12	п/п	30	8		8	32	17	4	36	9200	35
	4	11	12	п/п	30	8		4	16	17	4	20	8500	35
Всього	`							18	72		12	84		

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

4.1 Заходи по охороні праці при капітальному ремонті валкової дробарки

Перед початком капітального ремонту валкової дробарки необхідно розробити та затвердити проєкт організації ремонтних робіт. У цьому документі мають бути визначені заходи з безпечного виконання ремонтних операцій, способи стропування великогабаритних і великовагових вузлів та деталей, а також наведений перелік необхідного допоміжного обладнання, пристроїв, механізмів і інструменту [32].

На етапі підготовки до ремонту слід виконати ретельне очищення обладнання та ремонтної зони від сторонніх предметів, пилу й виробничих відходів. Ремонтний майданчик необхідно належним чином підготувати: вирівняти поверхню підлоги, встановити дерев'яні бруси, підкладки та стелажі для безпечного розміщення демонтованих вузлів і деталей з метою запобігання їхньому падінню або перекочуванню. Крім того, робоча зона повинна бути забезпечена достатнім освітленням, особливо у випадку проведення робіт у нічний час. На дільниці ремонту необхідно розмістити попереджувальні та заборонні знаки, а також плакати з вимогами безпечного виконання ремонтних операцій.

Перед початком виконання робіт підвищеної небезпеки необхідно оформити наряд-допуск. Для всіх працівників, залучених до ремонту, слід провести обов'язковий інструктаж з охорони праці та техніки безпеки, приділивши особливу увагу правильному виконанню потенційно небезпечних операцій. Інформацію про проведення інструктажу потрібно занести до журналу реєстрації інструктажів із підписом кожного працівника. Також необхідно виконати планове відключення дробарки від електромережі та забезпечити огородження ремонтної зони з призначенням відповідальних осіб за дотримання вимог безпеки [33].

Зупинку й повторний пуск дробарки слід здійснювати відповідно до

вимог биркової системи безпеки. Піднімання та переміщення вантажів повинно виконуватись лише за допомогою справних і перевірених стропів, підібраних відповідно до маси та габаритів вантажу. До виконання стропальних робіт і керування вантажопідіймальними механізмами допускаються лише працівники, які мають відповідне посвідчення. Усі ремонтні роботи необхідно проводити у справному спецодязі та з використанням справного інструменту. Інструмент слід застосовувати виключно за його прямим призначенням. Під час роботи з ручним електроінструментом необхідно суворо дотримуватись правил його експлуатації, а в разі виникнення несправностей – негайно відключити обладнання від мережі та повідомити електротехнічний персонал.

Демонтовані вузли, деталі та металоконструкції потрібно розміщувати на підготовлених стелажах і брусах надійно та стійко, не допускаючи захаращення проходів і робочих зон. Зняті елементи рекомендується укладати у технологічній послідовності їх демонтажу, що забезпечить зручність подальшого монтажу та підвищить безпечність виконання робіт. Необхідно регулярно прибирати сміття та залишки мастильних матеріалів, оскільки їх накопичення може стати причиною травмування працівників.

Під час проведення випробування дробарки після завершення ремонту необхідно вивести всіх працівників за межі небезпечної зони, переконатися у відсутності інструменту та сторонніх предметів на вузлах машини, після чого подати попереджувальний сигнал про запуск обладнання [34].

4.2 Заходи по протипожежній техніці безпеки при капітальному ремонті валкової дробарки

Під час виконання капітального ремонту валкової дробарки часто виникає необхідність проведення вогневих робіт із застосуванням газового та електричного зварювання. Такі роботи належать до категорії підвищеної пожежної небезпеки, тому їх організація повинна здійснюватися з обов’язковим дотриманням вимог охорони праці та пожежної безпеки.

Для проведення вогневих робіт на ремонтному майданчику необхідно спеціально підготувати робочу зону. Насамперед слід очистити місце виконання робіт від легкозаймистих матеріалів, мастил, ганчір'я та інших предметів, здатних спричинити займання. Робочу ділянку необхідно відгородити листовою сталлю або захисними екранами, що запобігатимуть розлітанню іскор та потраплянню їх на пожежонебезпечні об'єкти. Газозварювальне обладнання потрібно встановлювати в місцях, віддалених від проходів і транспортних проїздів, забезпечуючи вільний доступ до нього та безпечні умови експлуатації. У зоні розташування газозварювальних апаратів категорично забороняється користуватися відкритим вогнем або зберігати легкозаймисті й вибухонебезпечні матеріали.

Не допускається виконання зварювання чи різання металу на ємностях, у яких раніше зберігалися бензин, гас або інші легкозаймисті рідини, без попереднього очищення та дегазації. Також не рекомендується застосування переносних зварювальних генераторів через підвищену небезпеку виникнення аварійних ситуацій. Газорізальники та електрозварювальники повинні постійно контролювати справність газових рукавів, редукторів та іншого обладнання. Заборонено проводити вогневі роботи поблизу газонебезпечних місць або ділянок із можливим виділенням вибухонебезпечних речовин.

Ремонтний майданчик необхідно забезпечити первинними засобами пожежогасіння. Для цього на дільниці повинні бути встановлені пожежний щит, справні пожежні крани та не менше двох пожежних рукавів довжиною по 10 метрів. Пожежний пост має розташовуватись у доступному та добре помітному місці, що забезпечить можливість оперативного реагування у разі виникнення загоряння.

Особливу увагу слід приділяти правильному зберіганню та використанню легкозаймистих рідин, які застосовуються для очищення й промивання деталей обладнання. Пролиті мастильні матеріали необхідно негайно прибирати та засипати піском або іншими поглинальними матеріалами. Використане промаслене ганчір'я та обтиральні матеріали слід складати у спеціальні металеві

ящики з кришками, що щільно закриваються. Наприкінці кожної зміни ящики необхідно очищати від накопичених промаслених матеріалів, оскільки їх тривале зберігання може спричинити самозаймання.

Відповідальність за забезпечення протипожежних заходів під час ремонту та монтажу обладнання, а також при виконанні зварювальних та інших вогневих робіт покладається на керівників виробничого підрозділу або цеху. Для виконання тимчасових вогневих робіт обов'язково оформлюється наряд-допуск, який складається у двох примірниках, підписується начальником цеху та реєструється у спеціальному журналі.

Перед початком виконання вогневих робіт керівник ремонту спільно з представником пожежної охорони проводить інструктаж працівників з питань пожежної безпеки. Відомості про проведення інструктажу заносяться до журналу реєстрації інструктажів. Особи, які не пройшли відповідне навчання та інструктаж, до виконання вогневих робіт не допускаються.

Працівники, які виконують вогневі роботи, зобов'язані мати при собі кваліфікаційне посвідчення та документ про проходження навчання з пожежно-технічного мінімуму. Перед початком робіт вони повинні пройти цільовий інструктаж, розписатися у наряді-допуску та отримати дозвіл відповідальної особи на виконання робіт. Виконавці мають право виконувати лише ті операції, які передбачені нарядом-допуском, а також повинні вміти користуватися первинними засобами пожежогасіння. У разі виникнення пожежі працівники зобов'язані негайно вжити заходів щодо ліквідації загоряння та повідомити відповідні служби. Після завершення робіт необхідно ретельно перевірити робоче місце та усунути всі можливі джерела займання.

Особа, відповідальна за пожежну безпеку під час проведення вогневих робіт, повинна контролювати якість підготовки робочого місця, перевіряти справність обладнання та наявність засобів пожежогасіння. До її обов'язків також входить перевірка кваліфікаційних посвідчень виконавців, проведення інструктажу з пожежної безпеки, постійний контроль за дотриманням вимог безпеки під час виконання робіт, а також підтвердження пожежобезпечного

стану робочого місця шляхом підпису наряду-допуску.

4.3. Заходи по промислової санітарії при капітальному ремонті валкової дробарки

Агломераційний цех за санітарною класифікацією належить до другої групи виробничих процесів, що передбачає обов'язкове забезпечення працівників необхідними санітарно-побутовими приміщеннями. На території цеху або поблизу нього повинні бути обладнані душові, гардеробні, убиральні, приміщення для сушіння спецодягу та інші побутові кімнати, призначені для створення належних умов праці й дотримання вимог виробничої санітарії. Схема шкідливих зон процесу агломерації наведено на рисунку 4.1

Побутові приміщення доцільно розташовувати максимально близько до виробничих дільниць – у прибудованих або окремо розташованих будівлях. Гардеробні використовуються для зберігання чистого та робочого одягу працівників і можуть бути складовою частиною побутового комплексу. Умивальні приміщення необхідно розміщувати окремо або суміжно з гардеробними, що забезпечує зручність користування та дотримання санітарно-гігієнічних вимог.

Душові кабіни, як правило, розташовують між гардеробними для робочого та чистого одягу. Таке планування дозволяє працівникам після завершення зміни прийняти душ і переодягнутися, не порушуючи санітарних норм. Убиральні повинні знаходитися на відстані не більше 100 метрів від найбільш віддалених робочих місць, а їх конструкція та оснащення мають відповідати чинним санітарним вимогам і нормативам.

Для підтримання допустимих параметрів повітряного середовища у виробничих приміщеннях необхідно застосовувати системи вентиляції [38-40]. Вентиляційне обладнання забезпечує видалення забрудненого, запиленого та нагрітого повітря і подачу свіжого повітря, що сприяє покращенню умов праці та зниженню впливу шкідливих виробничих факторів на організм працівників.

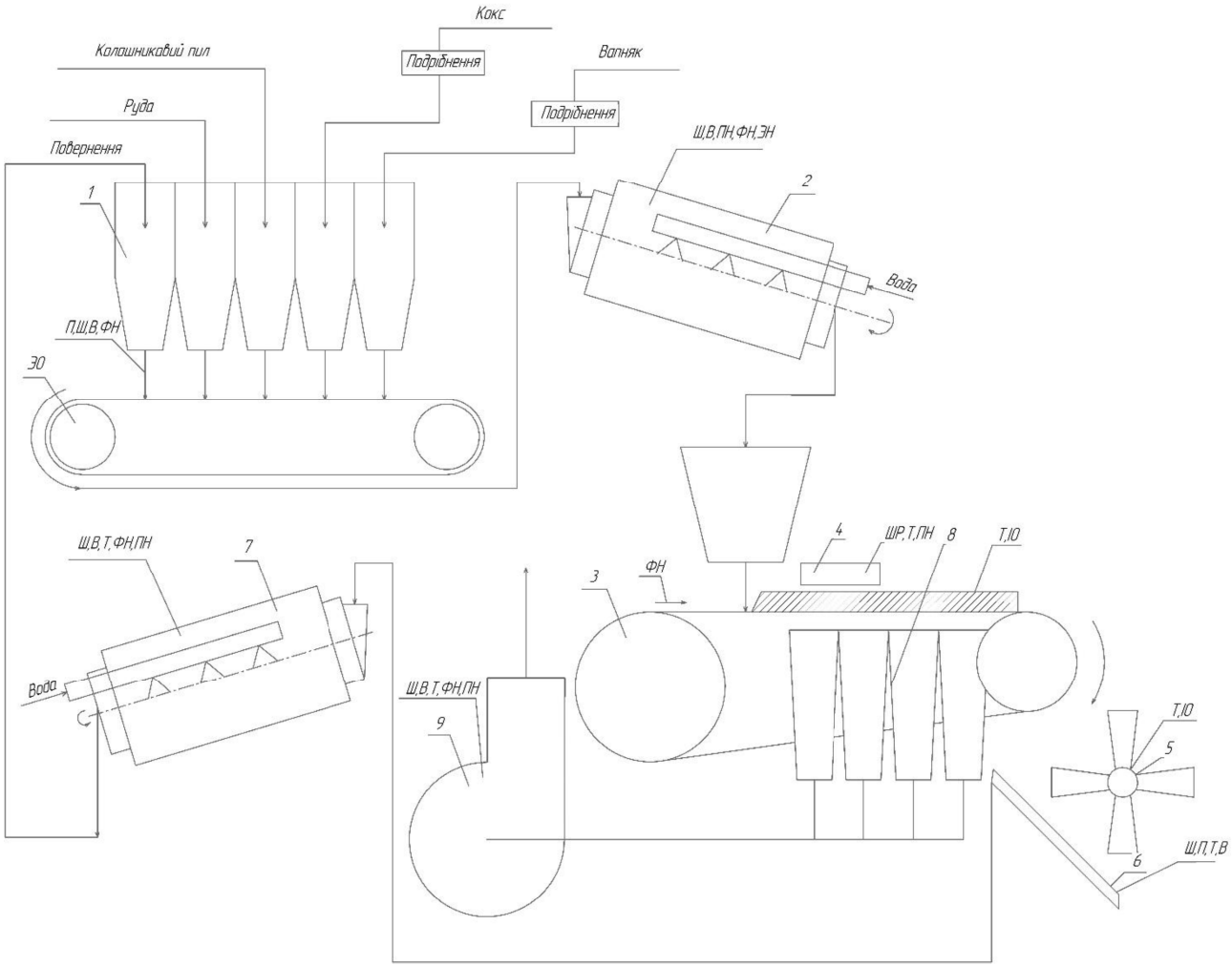


Рисунок 4.1 – Схема шкідливих зон процесу агломерації: П – пилевиділення; Т – тепловиділення; В – вібрація; ШР – Шкідливі речовини; Ш – шум; ЕН – електрична небезпека; ПН – пожежна небезпека; ФН – фізична небезпека; ІО – інфрачервоне опромінення. 1 – шихтові бункери; 2 – змішуючий барабан; 3 – агломашина; 4 – запалювальний горн; 5 – аглодробарка; 6 – стаціонарний гуркіт; 7 – охолоджуючий барабан; 8 – вакуумкамери; 9 – ексгаустери

Важливе значення для забезпечення безпечних і комфортних умов праці має раціонально організоване освітлення [41]. У виробничих приміщеннях застосовується як природне, так і штучне освітлення. Природне освітлення забезпечується через світлові прорізи, а штучне — за допомогою електричних освітлювальних установок, які повинні гарантувати достатній рівень

освітленості робочих місць у будь-який час доби.

Для забезпечення працівників питною водою на території цеху встановлюються питні фонтанчики або автомати з охолодженою газованою водою. Температура питної води повинна підтримуватися в межах 8–20 °С, а відстань від робочих місць до пунктів водопостачання не повинна перевищувати 75 метрів.

Окрім зазначених заходів, у виробничому процесі необхідно впроваджувати комплекс організаційних, санітарно-гігієнічних та санітарно-технічних рішень, спрямованих на зменшення впливу шкідливих виробничих факторів. Основними небезпечними факторами в агломераційному виробництві є підвищена запиленість повітря та інтенсивне теплове випромінювання. Для зниження їх впливу рекомендується екранування постів керування, застосування ефективних вентиляційних систем, а також використання працівниками індивідуальних засобів захисту – респіраторів, спецодягу, захисних окулярів та інших засобів.

Для забезпечення належних соціально-побутових умов працівники повинні бути організовано забезпечені гарячим харчуванням. З цією метою поблизу виробничих корпусів необхідно передбачати розташування їдалень, буфетів або інших пунктів харчування, що дозволяє підтримувати працездатність персоналу та сприяє покращенню умов праці.

4.4. Заходи по охорони навколишнього середовища

Металургійні підприємства необхідно розташовувати з підвітряного боку відносно житлових районів і населених пунктів. Таке планування дозволяє зменшити негативний вплив виробничих викидів на умови проживання населення та сприяє покращенню екологічної ситуації в прилеглих територіях.

З метою захисту навколишнього середовища між промисловими об’єктами та житловою забудовою передбачають створення санітарно-захисної зеленої зони. Для металургійних підприємств мінімальна ширина такої зони повинна

становити не менше 1000 метрів за умови впровадження спеціальних природоохоронних заходів, спрямованих на зниження рівня шкідливих викидів в атмосферу. У межах санітарно-захисної смуги висаджують дерева, чагарники та газонні насадження, які виконують функцію природного бар'єра, сприяють очищенню повітря від пилу та зменшують поширення шуму.

Важливим заходом екологічного благоустрою є озеленення території самого підприємства. Усі вільні площі виробничого майданчика повинні бути засаджені зеленими насадженнями. Площа озеленення зазвичай має становити приблизно 10÷20 % загальної території підприємства. Наявність зелених зон покращує санітарно-гігієнічний стан території, сприяє зниженню запиленості повітря та створює більш комфортні умови праці для персоналу.

Територію металургійного підприємства необхідно постійно підтримувати в належному санітарному стані. Проходи, транспортні проїзди та відкриті виробничі майданчики повинні регулярно очищуватись від пилу й виробничих відходів. У літній період для зменшення запиленості дороги та проїзди рекомендується періодично поливати водою. Під час експлуатації водоохолоджуваного обладнання у виробничу воду потрапляють абразивні частинки, залишки мастильних матеріалів, емульсії. Для запобігання забрудненню природних водойм на підприємствах необхідно споруджувати спеціальні очисні системи та відстійники. У процесі очищення промислових стоків тверді частинки осідають на дно резервуарів, а шкідливі хімічні домішки нейтралізуються за допомогою спеціальних реагентів.

Оскільки навіть сучасні очисні споруди не забезпечують повного очищення промислових стічних вод, у металургійному виробництві доцільно впроваджувати системи замкненого водопостачання. Такий підхід передбачає повторне використання очищеної води у технологічних процесах без її скидання у річки та інші водойми. Використання оборотного водопостачання дозволяє значно скоротити споживання природних водних ресурсів і суттєво зменшити негативний вплив металургійного виробництва на довкілля.

Висновки

1. Ознайомлення з технологічним процесом виробництва агломерату на аглофабриці ПАТ «Запоріжсталь» показало, що оптимальним обладнанням при підготовці шихти для подрібнення коксу є чотирьохвалкові дробарки.
2. Всебічний аналіз наявної та впровадженої в технологічний процес подрібнення коксу чотирьохвалкової дробарки вказує на те, що її конструкції далека від ідеальної та потребує подальшого удосконалення.
3. Завдяки запропонованій зміні завантажувальної частини, а саме встановлення додаткових напрямних в зеві дробарки, підвищується надійність її конструкції та спрощується виконання ремонтних впливів пов’язаних з абразивним зносом модернізуємого вузла.
4. У ході проведення роботи виконанні розрахунки потужності приводу та найбільш навантажених вузлів, які підтверджують надійність та роботоздатність конструкції.
5. Технологічні розрахунки, що наведені в третьому розділі, мають забезпечити якісне та швидке складання агрегату після впровадження реконструкційних дій.
6. З метою забезпечення безпечної роботи обслуговуючого персоналу та покращення умов їхньої роботи варто притримуватися рекомендацій наведених у четвертому розділі кваліфікаційної роботи.
7. Запропоноване конструкторське рішення для усунення недоліків конструкції чотирьохвалкової дробарки є не тільки актуальним, а й універсальним рішенням, використання якого можливе за умови адекватного масштабування і на інших аналогічних агрегатах пов’язаних з подрібненням високоабразивних матеріалів.

Список використаної літератури

1. Полєтаєв В.П., Похвалітий А.А.Технологія процесів (за фахом). Частина І «Аглодоменне виробництво» : конспект лекцій. Кам`янське: ДДТУ, 2019. 40 с.
2. Сировинні матеріали та їх підготовка до металургійних процесів / С. А. Воденніков та ін. Запоріжжя : ЗДІА, 2013. 408 с.
3. Русанов І. Ф., Петрушов С. М. Конструкції і обладнання фабрик окускування: навч. посіб. . Алчевськ: ДДТУ, 2010. .272 с.
4. Петрушов С.М. Формування шару шихти на агломашині: навч. посіб. Алчевськ: ДонДТУ, 2008. 182 с.
5. Теорія металургійних процесів/ Охотський В.Б. та ін. К.: ІЗМН, 1997. 512 с.
6. §5. Підготовка залізняку до доменної плавки. *StudFiles*. URL: https://studfile.net/preview/9397828/page:5/ (дата звернення: 17.05.2026).
7. Задачник з теорії процесів підготовки сировини до доменної плавки. / Семакова В.Б. та ін. Маріуполь: ПДТУ, 2010. 105 с.
8. Gooch J. W. Agglomerate. *Encyclopedic Dictionary of Polymers*. New York, NY, 2011. P. 22. URL: https://doi.org/10.1007/978-1-4419-6247-8_322
9. Іващенко О. Д., Нікозять Ю. Б., Дмитренко В. І. Хімія і методи дослідження сировини та матеріалів: навч. посіб. К., 2011. 606 с.
10. Cheng, Z., Yang, J., Zhou, L., Liu, Y., Wang, Q. Sinter strength evaluation using process parameters under different conditions in iron ore sintering process. Applied Thermal Engineering, 2016, 105, pp/894–904. doi:10.1016/j.applthermaleng.2016.03.034
11. Шлях сталі. VR тур. *Запоріжсталь Метінвест*. URL: https://zaporizhstal.online/ (дата звернення: 18.05.2026).
12. Єгупов Ю. А. Організація виробництва на промисловому

підприємстві : Навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. Київ : Центр навч. літ., 2006. 488 с.

13. Altukhov V. M., Borovik P. V. Modern directions of development of metallurgical equipment for agglomerate crushing. Scientific news of Dahl university. 2021. URL: https://doi.org/10.33216/2222-3428-2021-20-3
14. Саленко Ю.С. Обладнання для подрібнення матеріалів: дробарки та млини: навч. посіб. Кременчук: КДПУ, 2008. 100 с.
15. Петров В.М. Вальцьове подрібнююче обладнання: навч. посіб. Одеса: Одеська державна академія будівництва та архітектури (ОДАБА), 2019. 227 с.
16. Юхименко М.П. Обладнання хімічних виробництв: консп. лекцій. Суми: СумДУ, 2015. 119 с.
17. Mishchuk Y. Analysis of roller crusher parameters for crushing process automation. *Girnichi, budivelni, dorozhni ta meliorativni mashini*. 2025. No. 105. P. 85–90. URL: https://doi.org/10.32347/gbdmm.2025.105.0503
18. Громадський А. С., Горбачов Ю. Г., Ліфенцов О. С. Машини підготовчих процесів переробки руд : навч. посіб. Кривий Ріг: Видавничий центр КТУ, 2010. 259 с.
19. Жук А. Я., Желябіна Н. К. Основи розрахунків приводів машин: навч. посіб. Запоріжжя: ЗДІА, 1996. 145 с.
20. Півняк Г.Г., Бешта О.С., Фількін М.П. Автоматизований електропривод у прокатному виробництві. Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2008. 352 с.
21. Корнілов О. А. Опір матеріалів.Підручник для студентів технічних ВНЗ. К.: Логос, 2002. 562 с.
22. Малишев Г.П., Хімін В. М.Триботехніка та змащування обладнання. Використання трибоніки та триботехніки при створенні металургійного обладнання: метод. вказівки. Запоріжжя: ЗДІА, 2006. 49 с.
23. Седуш В.Я. Надійність, ремонт і монтаж металургійних машин :

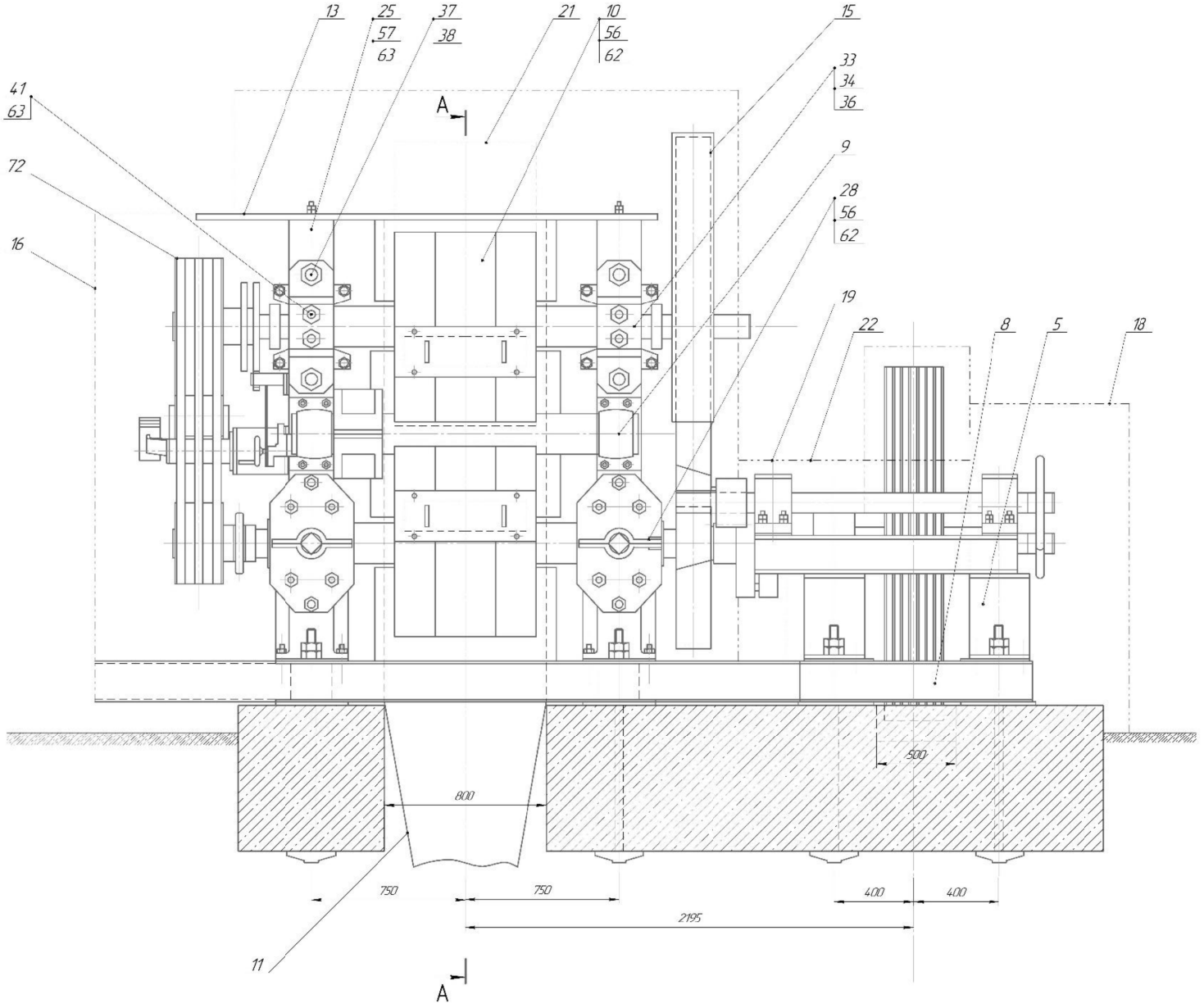
підручник. 4-е вид., перероб. і доп. Донецьк : ТОВ «Юго – Восток, Лтд», 2008. 379 с

24. Монтаж металургійного обладнання : навч. посіб. / А. Я. Жук та ін. Київ : Кондор, 2017. 374 с.
25. Ремонт металургійного обладнання : навч. посіб. / А. Я. Жук та ін. Київ : Кондор, 2017. 236 с.
26. Технічне обслуговування металургійного обладнання : навч. посіб. / А. Я. Жук та ін. Київ : Кондор, 2017. 288 с.
27. Коваленко І. В. Монтаж, експлуатація та ремонт обладнання хімічних виробництв: навч. посібник. К.: ,2011. 580 с ISBN 979-958-596-485-3
28. *Vukladach*.
    URL: https://vukladach.pp.ua/MyWeb/manual/galyzeve_mahunobydyvannja/Metalurhiya/Metalurhiya/rozdil%202/2_3.htm (дата звернення: 25.05.2026).
29. Білоус О. І.Експлуатація та обслуговування МОМЗ: конспект лекцій. Кам'янське: ДДТУ, 2024. 56 с.
30. 1.3. Розрахунок численності робітників на капітальний ремонт механообладнання. StudFiles.
    URL: https://studfile.net/preview/7292324/page:3/ (дата звернення: 26.05.2026).
31. Мєдвєдкова Л. Обслуговування та ремонт обладнання металургійних підприємств : метод. вказівки до виконання курс. роботи. Запоріжжя : Запоріз. металург. коледж ЗДІА, 2010. 38 с.
32. Охорона праці на гірничо-металургійному підприємстві: навч. посібник. Ч.І: Металургійний комплекс. / В.О.Шеремет та ін. Дніпропетровськ: Січ, 2002. 375 с.
33. Ткачук К. Н. Охорона праці та промислова безпека. Навч.посіб. / К. Н. Ткачук. та ін. К: Основа, 2009. 360 с.
34. Березуцький В. В., Бондаренко Т. С., Валенко Г. Г. Основи охорони праці: навч. посіб. 2-ге вид., перероб. і доп. Х.: Факт, 2007. 480 с.

35. НПАОП 27.0–1.01–08 Правила охорони праці в металургійній промисловості.
36. НПАОП 0.00–4.01–08 Положення про порядок забезпечення працівників спеціальним одягом, спеціальним взуттям та іншими засобами індивідуального захисту // Державний комітет України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду. 2008. Режим доступу до ресурсу: http://online.budstandart.com/ru/catalog/doc–page?id_doc=28566.
37. ДСТУ EN 397:2017 Каски захисні промислові (EN 397:2012 + A1:2012, IDT). *БУДСТАНДАРТ Online - нормативні документи будівельної галузі України*. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=75611 (дата звернення: 26.05.2026).
38. ДСН 3.3.6.042–99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень
39. ДБН В.2.2–28:2010. Будинки і споруди. Будинки адміністративного та побутового призначення. Чинний від 2011–10–01. Вид. офіц.
40. ДСП 3.3.1.038–99. Підприємства чорної металургії. Чинний від 1999–12–01. Вид. офіц.
41. ДБН В.2.5–28–2006. Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення // Мінбуд України. 2006. Режим доступу до ресурсу: http://www.gorsvet.kiev.ua/wp–content/uploads/2016/08/ДБН–В.2.5–28–2006.pdf.

ДОДАТКИ

КРБ.022032.100.1 ВЗ



Технічна характеристика

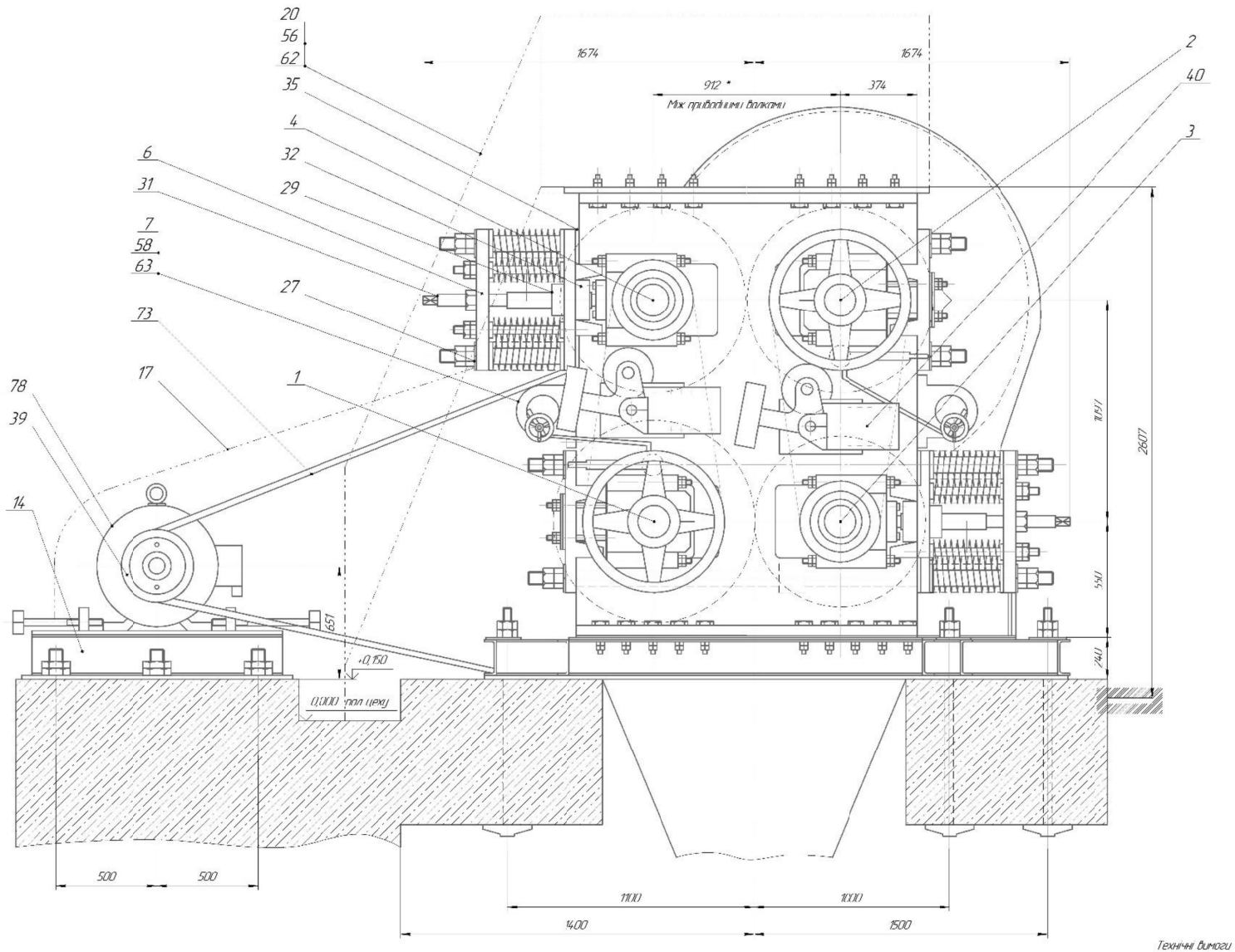
Дробарка 4-х валкова призначена для подрібнення коксу крупністю 25 мм у фракцію 2мм.

Діаметр валка,мм	950
Знос діаметру валка до розміру, мм	750
Довжина валка, мм	700
Продуктивність, т/год	18
Швидкість обертання валків, об/хв	
верхній	10,5
нижній	200
Привід:	
Електродвигун, кВт	75
Швидкість обертання, об/хв	980
Зубчаста передача валків:	
Кількість зубців шестерні, Z1	84
Кількість зубців колеса, Z2	162
Передавальне число	
Кількість пар передач валків, і	1,81
Швидкість обертання валків і шестерні нижніх бандажів, об/хв	26,4
Зусилля притиснення одного амортизатора, кН	118

Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	КРБ.022032.100.1 ВЗ
Розроб.		Александров І.Р.			Дробарка 4-х валкова для коксу
Керівн.		Шкіна С.П.			Лит. Маса Масштаб
Т.контр.		Шкіна С.П.			Н 37400 1:10
Н.контр.		Гончаний О.М.			Аркуш 1 Аркушів 1
Затв.		Гонцов Л.О.			НТУ України КПІ ім. ІГОР Сікорського ІЗЕЦ кафедра МЕЦ гр. ЕЛ-41-17

Формат А1

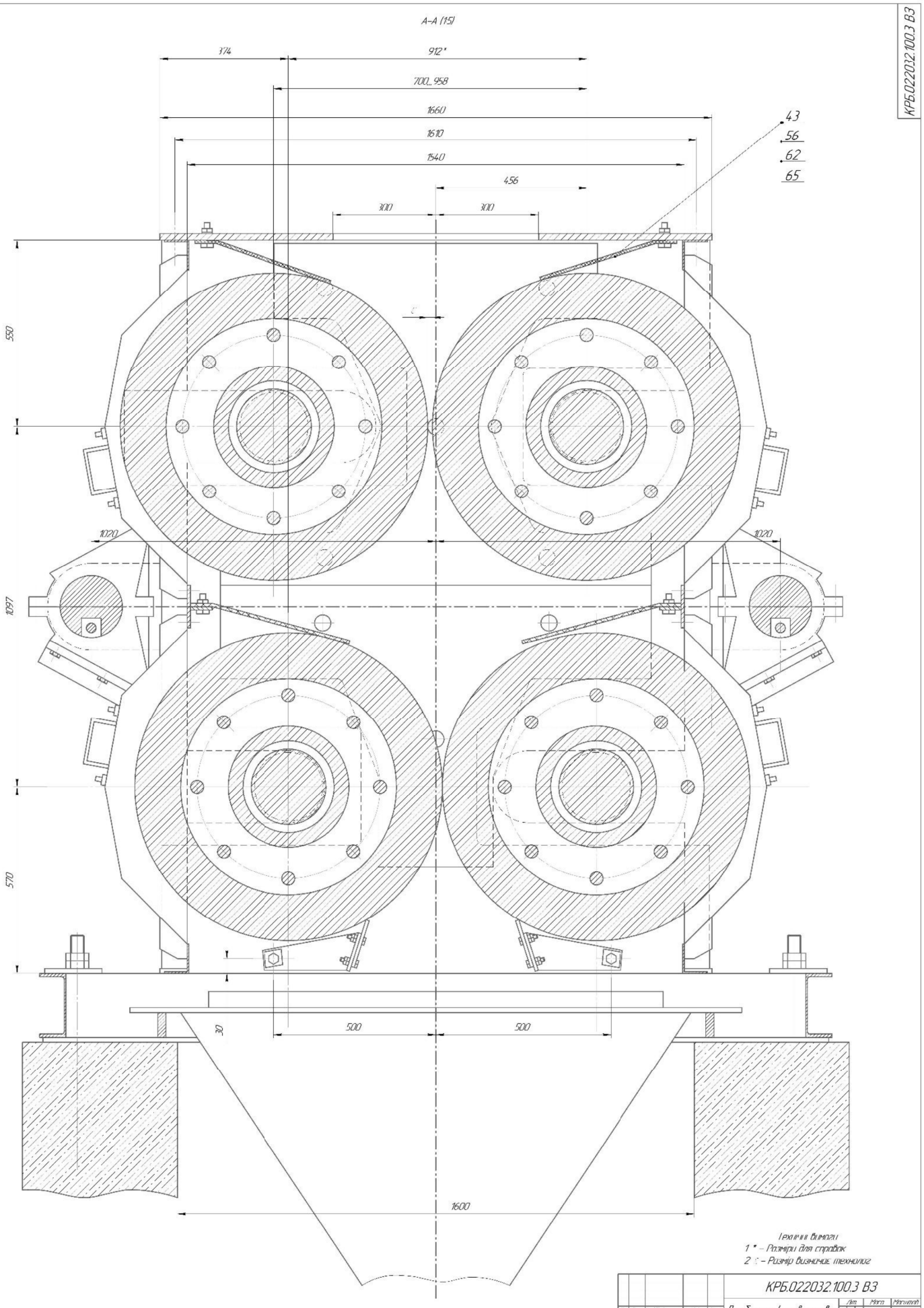
06



Технічні вимоги

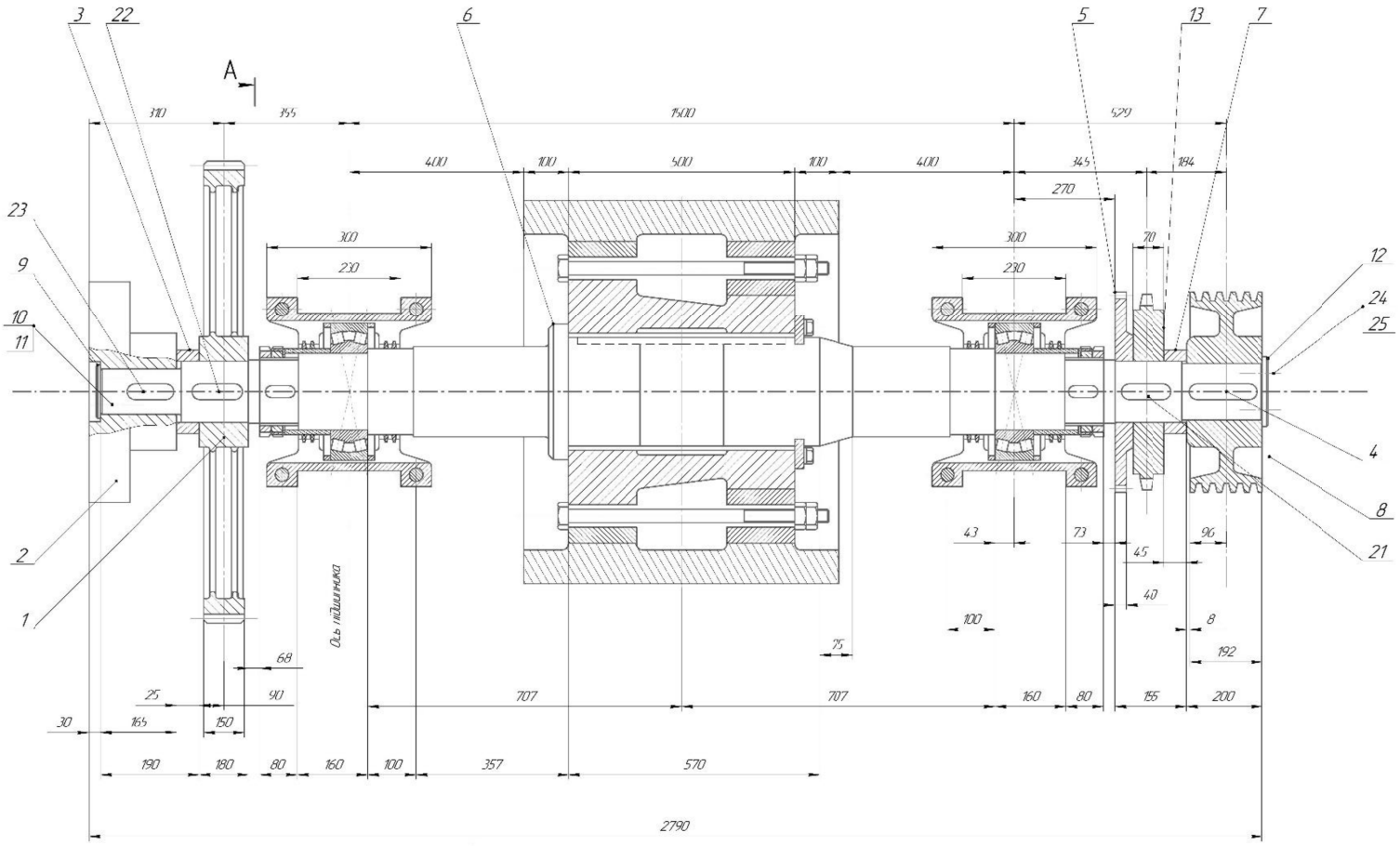
1. Зварювання вести електродами типу Г42
2. Кожух фарбувати показані умовно штрих-пунктирною лінією
3. * – Розміри для справок

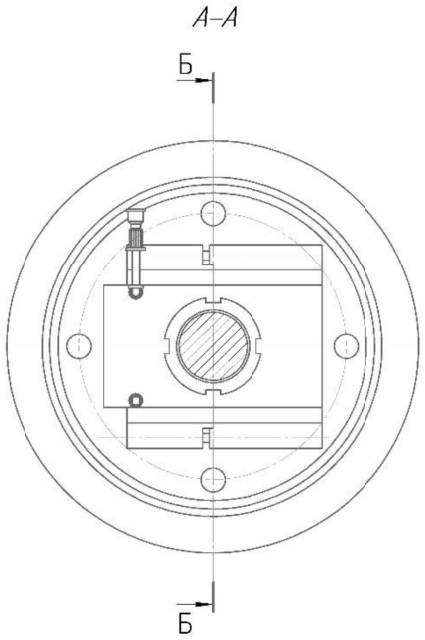
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	КРБ.022032.100.2 ВЗ		
Розроб.		Антипчевський А.І.			Дробарка 4-х валкова для коксу	Літ.	Маса	Масштаб
Перевір.		Шевченко І.І.				Н	37400	1:10
Н.контр.		Шевченко І.І.				Аркуш 2	Аркушів 3	
Затв.		Гречишкін О.М.				НТЗН Чернівці ІНН ім.Юрія Федьковича ЗНТУ кафедра МО та ОТ		
		Нач.каб. А.І.				Чернівці А1		

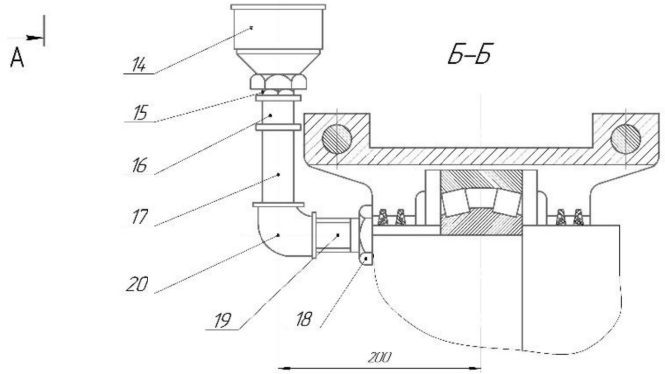


Технічні вимоги
1 * – Розміри для справок
2 ☆ – Розмір визначає технолог

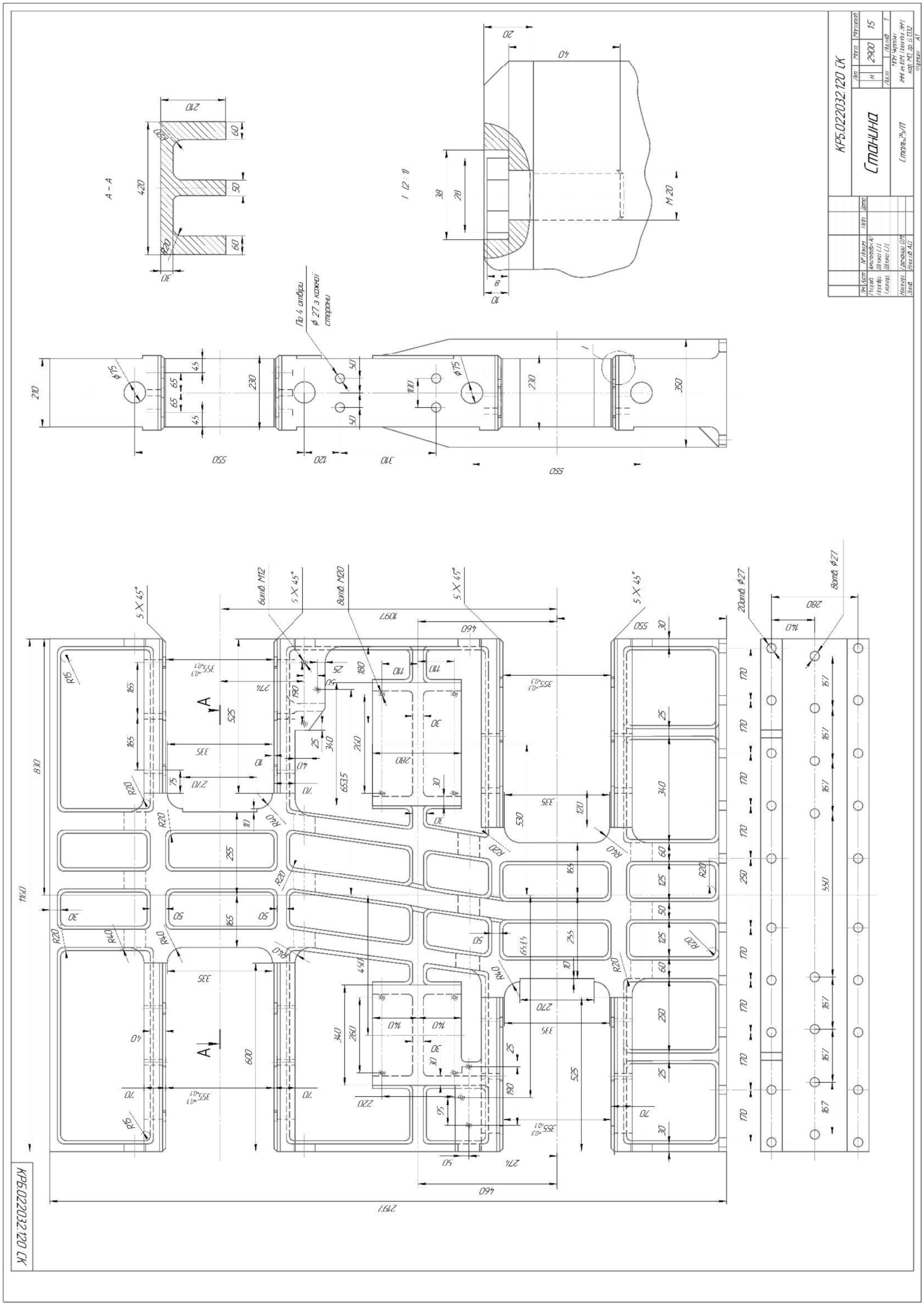
КРБ.022032.110 СК

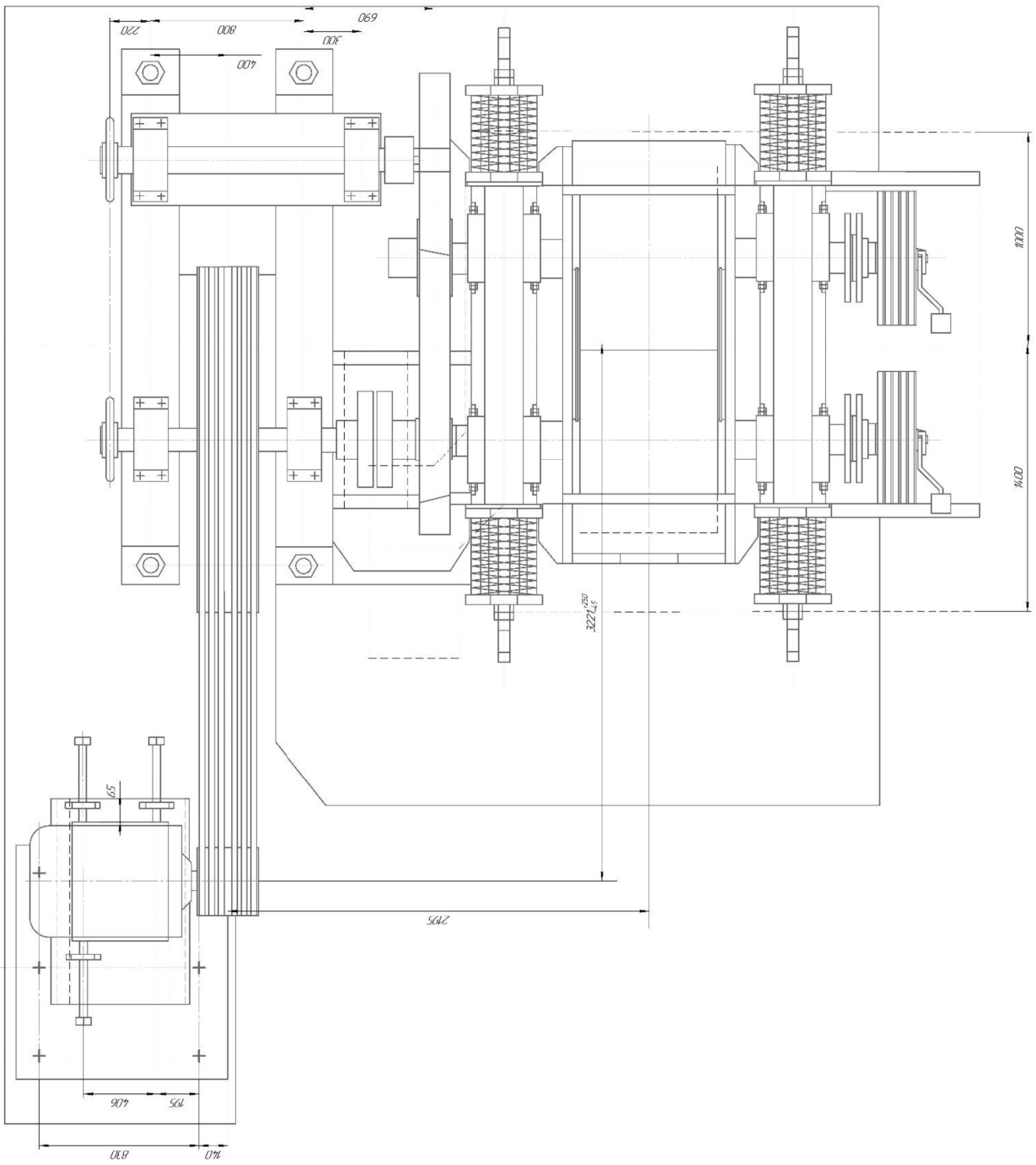






Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	КРБ.022032.110 СК		
Розроб.		Кожухівський А.Р.			Валок приводний передній нижній	Літ.	Маса	Масштаб
Перевір.		Шпилюк Г.П.				Н	4175	1:5
Н.контр.		Шпилюк Г.П.				Аркуш	Аркушів
Затв.		Гриневич Ш.М.				НКФ І Україна	
		Фінагін А.П.				Інв. № орг.	Інв. № дубл.	Взам. інв. №	Підпис і дата
						Формат А1			


КРБ.022032.120 СК
Станина
Масштаб 1:5
Лист 1
Листов 1
2900
15
Сталь 35Л ГОСТ 977-88
Неуказ. пред. откл. Н14, h14, ±IT14/2
Покрытие Грунт ГФ-021 ГОСТ 25129-82
Неуказанные литейные радиусы 3...5 мм
Копировал А1
Формат А1
А – А
Б (1 : 10)
По 4 отверстиям ø 27 с одной стороны
5 Х 45°
Болт М12
Болт М20
Болт ø27
2797
830
1140
460
550
525
600
340
280
220
180
140
110
70
40
30
25
20
10
R15
R20
R40
ø15
ø75
M 20
КРБ.022032.120 СК



КРБ.022032.200 СК

Привод дробарки 4-х валкової для коксу

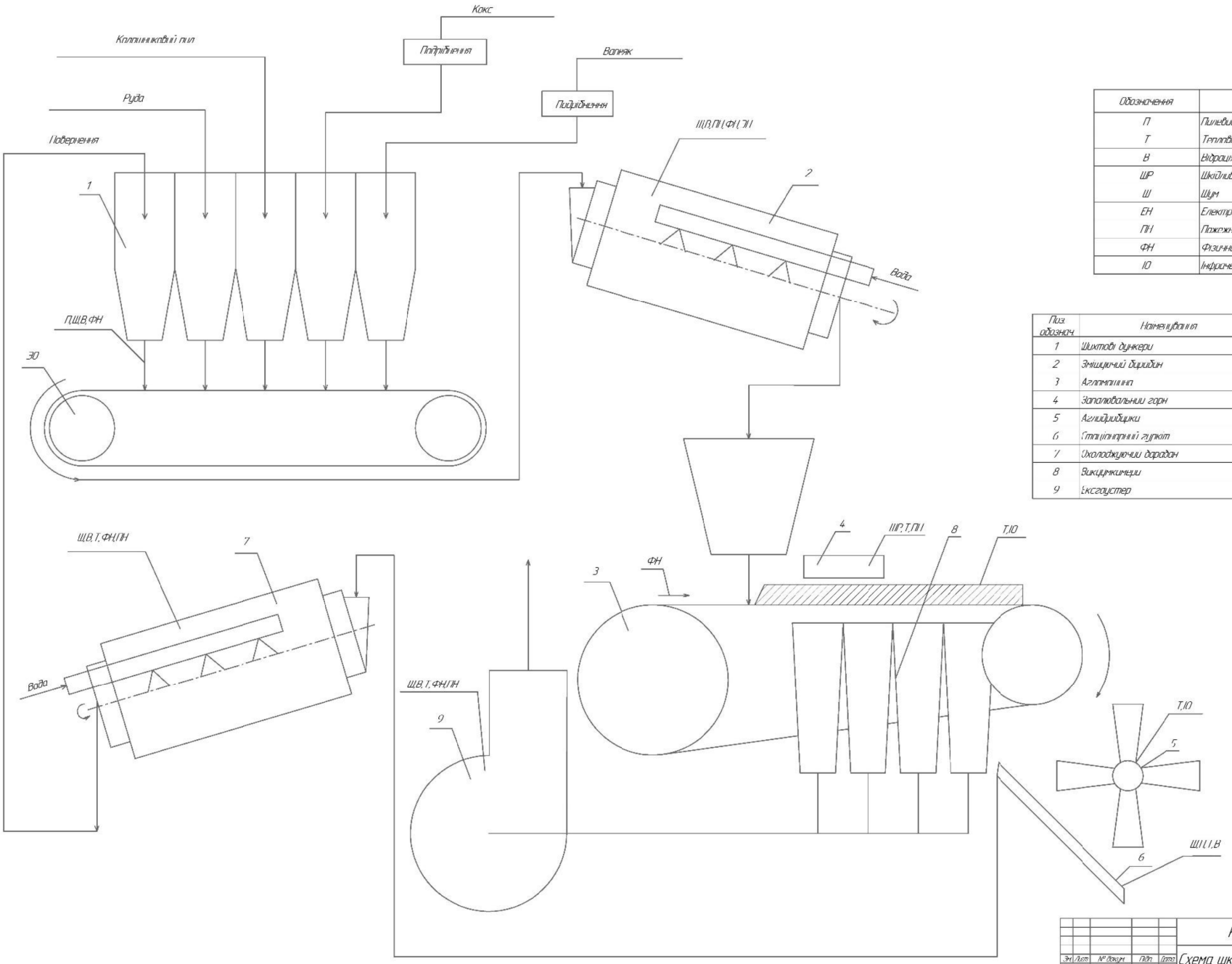
Масштаб 1:10

Аркуш 1

Аркушів 1

Формат А1

КРБ.022032.200 СК



Обозначення	Найменування
П	Пилевиділення
Т	Тепловиділення
В	Вібрація
ШР	Шкідливі речовини
Ш	Шум
ЕН	Електрична небезпека
ПН	Пожежна небезпека
ФН	Фізична небезпека
ІО	Інфрачервоне випромінювання

Поз. обознач.	Найменування	Кіл.	Примітка
1	Шихтові бункери	32	
2	Змішувач барабан	6	
3	Агломашина	6	
4	Запалювальний горн	6	
5	Аглодробарки	6	
6	Стаціонарний грукіт	6	
7	Охолоджуючий барабан	6	
8	Вакуумкамери	12	
9	Ексгаустер	6	

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	КРБ.022032.400 ОП
Розроб.	Анохайбах А.Ф.				Схема шкідливих зон процесу агломерації
Перевір.	Шевкун С.П.				
Т.контр.	Шевкун С.П.				
Н.контр.	Гуменний О.М.				
Затв.	Онищак Л.О.				

Літ.	Маса	Масштаб
Н	–	–
Аркуш 1	Аркушів 1	

НТУ України ІІІПІ ім. ІОМ. Пастевіч ЗІЕ, каф. РЕІ, гр. А-11-07

Формат А1